

**ALLEGATI 1 – REPORT STRATIGRAFIE / DOWN-HOLE**

Accettazione n°1946

del 20 giugno 2023

Rapporto di prova n°827 e n° anno 2023



**RICHIEDENTE:**  
**Dott. Geol. Nazario DI LELLA**

**COMMITTENTE:**  
**IVPC SRL**

**PROGETTO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO IN  
PROVINCIA DI BENEVENTO DA 146,40 MW SU 24  
AEROGENERATORI**

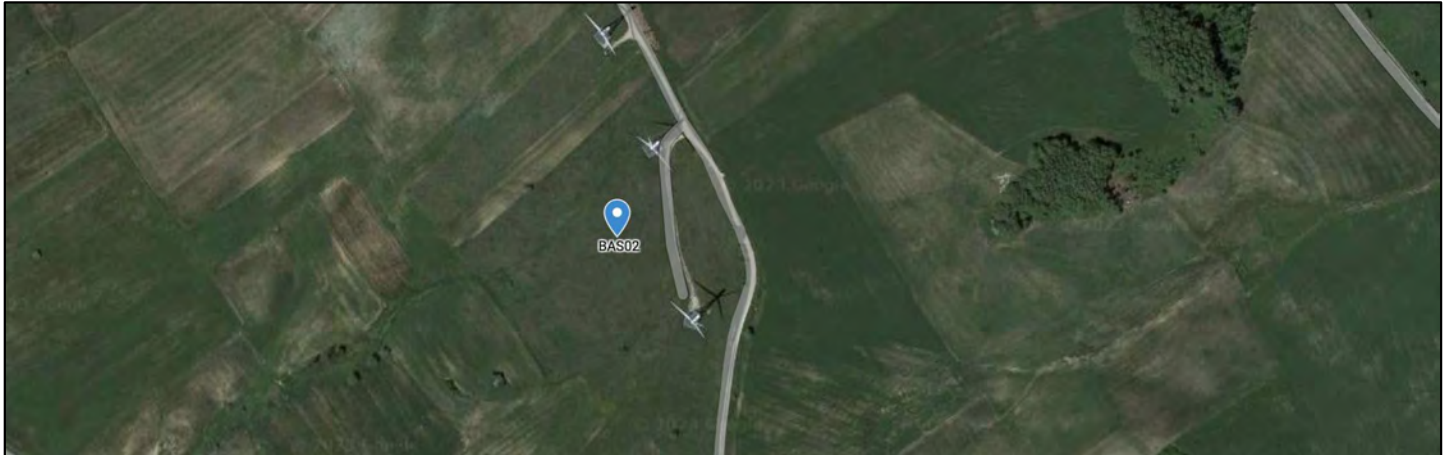
Coord. UTM Long. 491926 Lat 4579718 F 45 p.IIa 158  
**BAS 02 - Comune di Baselice (BN)**

## INDAGINI IN SITO

### PROVE ESEGUITE

- Sondaggio geognostico BAS 02 a mt 30,0 rapp. di prova 827/23
- Prova sismica in foro del tipo Down-hole DH2 **rapp di prova xxxx/23**

### STRALCIO CON UBICAZIONE DELLE PROVE



### DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA

#### CAROTAGGIO CONTINUO

Tutte le indagini eseguite sono state effettuate a carotaggio continuo con il prelievo della carota disposta in apposite cassette catalogatrici. Il carotaggio è stato eseguito a secco, nei terreni più sciolti e con circolazione di fluido in quelli di natura litoide. L'espulsione della carota è stata effettuata o con spinta idraulica (acqua) o in caso di materiale litoide tramite martellamento del carotiere, il tutto raccolto in contenitore adatto e riposto, secondo la profondità, nelle apposite cassette. La strumentazione utilizzata per le indagini è la seguente: Sonda perforatrice a rotazione di marca Trivel MAc modello TM10FM, anno di produzione 2014, peso circa 10000 kg, coppia massima di rotazione 1000 kgm, velocità di rotazione massima 450 g/min; corsa di 3300 mm, Aste lunghezza 1500 mm diametro 76 mm spessore 6,6 mm, Carotiere di tipo semplice diametro 101 lunghezza 3000 mm e corona con denti in widia, Pompa fanghi del tipo a vite con pressione massima di esercizio di 30 bar

#### PRELIEVO DEI CAMPIONI INDISTURBATI

Raggiunta la profondità desiderata con la perforazione si è proceduti alla manovra di pulizia del foro mediante lavaggio con acqua pulita tale da rimuovere dal fondo del foro eventuale fango e detriti lasciati dalla manovra precedente. Il prelievo dei campioni è stato eseguito, a seconda del grado di consistenza del terreno, con un campionatore a pressione di tipo shelby con fustella a pareti sottili, nei terreni meno consistenti e con un campionatore rotativo denominato "Drill" nei terreni consistenti, litoidi e semilitoidi. Tale campionatore, che viene usato con circolazione di fluido, è costituito da una parte esterna con corona sottile al widia che esegue il taglio del terreno e da una fustella interna in acciaio collegata tramite una testa libera che permette alla fustella di inserirsi nel terreno senza ruotare. Il campione indisturbato, prelevato nella fustella, è stato regolarmente paraffinato e contrassegnato con i dati relativi al sondaggio, alla profondità e alla data di prelievo.

#### STANDARD PENETRATION TEST

La prova SPT si esegue durante la perforazione. Consiste nel registrare il numero di colpi necessari per far penetrare di 45 cm nel terreno a fondo foro un tubo campionatore di dimensioni standard, collegato alla superficie mediante batteria di aste in testa sulle quali agisce un maglio del peso di 63,5 kg che cade liberamente da un'altezza di 0,75 m.

Durante la prova si misura :

N 1= numero di colpi di maglio necessari a provocare l'avanzamento del campionatore per i primi 15 cm

N 2= numero di colpi che provoca la penetrazione del campionatore nei successivi 15 cm;

N 3= numero di colpi necessari per gli ultimi 15 cm di avanzamento.

Si assume come resistenza alla penetrazione il valore:  $NSPT = N2 + N3$

Si utilizzano le seguenti attrezzature standard:

Aste d'infissione del diametro esterno 50 mm e peso di 7 kg/m; Testa di battuta di acciaio avvitata sulle aste; Maglio di acciaio di 63,5 kg; Dispositivo automatico che consente la caduta del maglio da un'altezza di 0,76 m; Centratore di guida per le aste fra la testa di battuta e il piano campagna; Campionatore standard (detto Raymond dalla società che lo ha introdotto per prima). Si tratta di un tubo carotiere avente diametro esterno di 51 mm, spessore 16 mm e lunghezza complessiva comprendente scarpa e raccordo alle aste di 813 mm. Nei terreni ghiaiosi la scarpa del carotiere viene sostituita da una punta conica di diametro 51 mm e angolo 60°. Il campionatore Raymond consta di un tubo diviso longitudinalmente a metà, i due semitubi sono tenuti insieme, durante l'infissione, da una scarpa tagliente avvitata alla base e da un anello in testa. Alla fine della prova si svita la scarpa, il carotiere si apre in due permettendo di estrarre il campione

**Profondità:** 30,00 mt **Cassette:** n°6 **Quota p.c. data esecuzione:** da 30/6/2023 al 30/6/2023 **Attrezzatura:** Trivel Mac TM10  
**Tipo carotaggio:** continuo Ø 101 mm **Tipo carotiere:** semplice **Rivestimento:** Ø 127 mm a mt 3,0 **Operatore:** Giuseppe Giglio  
**Condizionamento foro e note:**

Foro condizionato con tubo in pvc per prova down-hole in foro

1,0 C1 A Campioni rimaneggiati ad uso ambientale A, (1,0 = profondità e C1 = n° campione)

Scala 1:150

Profondità metri	Spess. metri	SIMBOLO	DESCRIZIONE LITOLOGICA	% Carot	Camp. S=shelby O=Osterberg M=Mazier	Tubo Dow-hole	H <sub>2</sub> O	SPT A= punta aperta C=punta chiusa	Nspt
1	0,4		Limo sabbioso bruno, terreno vegetale.		0,2 C1 A				
2			Limo debolmente sabbioso di colore giallo-verdastro con rari clasti millimetrici, leggermente consistente.						
3	2,3								
4			Sabbia limosa e debolmente limosa giallo-verdastra poco addensata, scompagnata dopo la perforazione, umida, probabile debole circolazione idrica.						
5	5,0				4,5 C1 S				
6					5,0				
7									
8									
9									
10									
11					10,0 C2 S				
12					10,5				
13									
14									
15			Limo debolmente argilloso e sabbioso di colore grigiastro con inclusi elementi calcarenitici centimetrici e millimetri sparsi, dello stesso colore dell'ammasso. Si intercettano blocchetti sabbiosi arenacei a variabile grado di cementazione tra le quote di 7,5÷8,2, 14,5÷15,0, 18,5÷19,0 e tra 20,0/20,3. Consistente. Intervallati livelli e/o blocchetti di natura argillo-marnoso pseudolitoidi spesso in scaglie.		15,0 C2 A				
16					16,0 C3 M				
17					16,5				
18									
19									
20									
21									
22									
23									
24	23,8								
25	25,3		Arenaria grigiasta con livelli di spessori decimetrici e blocchetti arenacei in matrice sabbioso-arenacea grigiasta. Modesta circolazione idrica.						
26									
27			Sabbia limosa con modesto grado di cementazione con abbondanti clasti sabbiosi-arenacei centimetrici, livelli decimetrici di arenaria 26,8-27,0. Alternati intercalazioni limose debolmente sabbiose dello stesso colore. Possibile circolazione idrica.		26,2 C4 M				
28					26,8				
29									
30	30,0	Fine Foro			29,5 C3 A				
31									
32									
33									



Accettazione n°1946

del 20 giugno 2023

Rapporto di prova n°828 e n°910 anno 2023



**RICHIEDENTE:**  
**Dott. Geol. Nazario DI LELLA**

**COMMITTENTE:**  
**IVPC SRL**

**PROGETTO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO IN  
PROVINCIA DI BENEVENTO DA 146,40 MW SU 24  
AEROGENERATORI**

Coord. UTM Long. 491927 Lat 4579318 F 46 p.IIa 47  
**BAS 03 - Comune di Baselice (BN)**

## INDAGINI IN SITO

### PROVE ESEGUITE

- Sondaggio geognostico BAS 03 a mt 30,0 rapp. di prova 828/23
- Prova sismica in foro del tipo Down-hole DH3 rapp di prova 910/23

### STRALCIO CON UBICAZIONE DELLE PROVE



### DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA

#### CAROTAGGIO CONTINUO

Tutte le indagini eseguite sono state effettuate a carotaggio continuo con il prelievo della carota disposta in apposite cassette catalogatrici. Il carotaggio è stato eseguito a secco, nei terreni più sciolti e con circolazione di fluido in quelli di natura litoide. L'espulsione della carota è stata effettuata o con spinta idraulica (acqua) o in caso di materiale litoide tramite martellamento del carotiere, il tutto raccolto in contenitore adatto e riposto, secondo la profondità, nelle apposite cassette. La strumentazione utilizzata per le indagini è la seguente: Sonda perforatrice a rotazione di marca Trivel Mac modello TM10FM, anno di produzione 2014, peso circa 10000 kg, coppia massima di rotazione 1000 kgm, velocità di rotazione massima 450 g/min; corsa di 3300 mm, Aste lunghezza 1500 mm diametro 76 mm spessore 6,6 mm, Carotiere di tipo semplice diametro 101 lunghezza 3000 mm e corona con denti in widia, Pompa fanghi del tipo a vite con pressione massima di esercizio di 30 bar

#### PRELIEVO DEI CAMPIONI INDISTURBATI

Raggiunta la profondità desiderata con la perforazione si è proceduti alla manovra di pulizia del foro mediante lavaggio con acqua pulita tale da rimuovere dal fondo del foro eventuale fango e detriti lasciati dalla manovra precedente. Il prelievo dei campioni è stato eseguito, a seconda del grado di consistenza del terreno, con un campionatore a pressione di tipo shelby con fustella a pareti sottili, nei terreni meno consistenti e con un campionatore rotativo denominato "Drill" nei terreni consistenti, litoidi e semilitoidi. Tale campionatore, che viene usato con circolazione di fluido, è costituito da una parte esterna con corona sottile al widia che esegue il taglio del terreno e da una fustella interna in acciaio collegata tramite una testa libera che permette alla fustella di inserirsi nel terreno senza ruotare. Il campione indisturbato, prelevato nella fustella, è stato regolarmente paraffinato e contrassegnato con i dati relativi al sondaggio, alla profondità e alla data di prelievo.

#### STANDARD PENETRATION TEST

La prova SPT si esegue durante la perforazione. Consiste nel registrare il numero di colpi necessari per far penetrare di 45 cm nel terreno a fondo foro un tubo campionatore di dimensioni standard, collegato alla superficie mediante batteria di aste in testa sulle quali agisce un maglio del peso di 63,5 kg che cade liberamente da un'altezza di 0,75 m.

Durante la prova si misura:

N 1= numero di colpi di maglio necessari a provocare l'avanzamento del campionatore per i primi 15 cm

N 2= numero di colpi che provoca la penetrazione del campionatore nei successivi 15 cm;

N 3= numero di colpi necessari per gli ultimi 15 cm di avanzamento.

Si assume come resistenza alla penetrazione il valore:  $NSPT = N2 + N3$

Si utilizzano le seguenti attrezzature standard:

Aste d'infissione del diametro esterno 50 mm e peso di 7 kg/m; Testa di battuta di acciaio avvitata sulle aste; Maglio di acciaio di 63,5 kg; Dispositivo automatico che consente la caduta del maglio da un'altezza di 0,76 m; Centratore di guida per le aste fra la testa di battuta e il piano campagna; Campionatore standard (detto Raymond dalla società che lo ha introdotto per prima). Si tratta di un tubo carotiere avente diametro esterno di 51 mm, spessore 16 mm e lunghezza complessiva comprendente scarpa e raccordo alle aste di 813 mm. Nei terreni ghiaiosi la scarpa del carotiere viene sostituita da una punta conica di diametro 51 mm e angolo 60°. Il campionatore Raymond consta di un tubo diviso longitudinalmente a metà, i due semitubi sono tenuti insieme, durante l'infissione, da una scarpa tagliente avvitata alla base e da un anello in testa. Alla fine della prova si svita la scarpa, il carotiere si apre in due permettendo di estrarre il campione

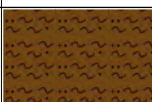


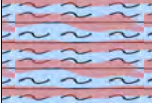



**Profondità:** 30,00 mt **Cassette:** n°6 **Quota p.c. data esecuzione:** da 29/6/2023 al 19/6/2023 **Attrezzatura:** Trivel Mac TM10  
**Tipo carotaggio:** continuo Ø 101 mm **Tipo carotiere:** semplice **Rivestimento:** Ø 127 mm a mt 3,0 **Operatore:** Giuseppe Giglio

**Condizionamento foro e note:**

Foro condizionato con tubo in pvc per prova down-hole in foro

1,0 C1 A Campioni rimaneggiati ad uso ambientale A, (1,0 = profondità e C1 = n° campione)

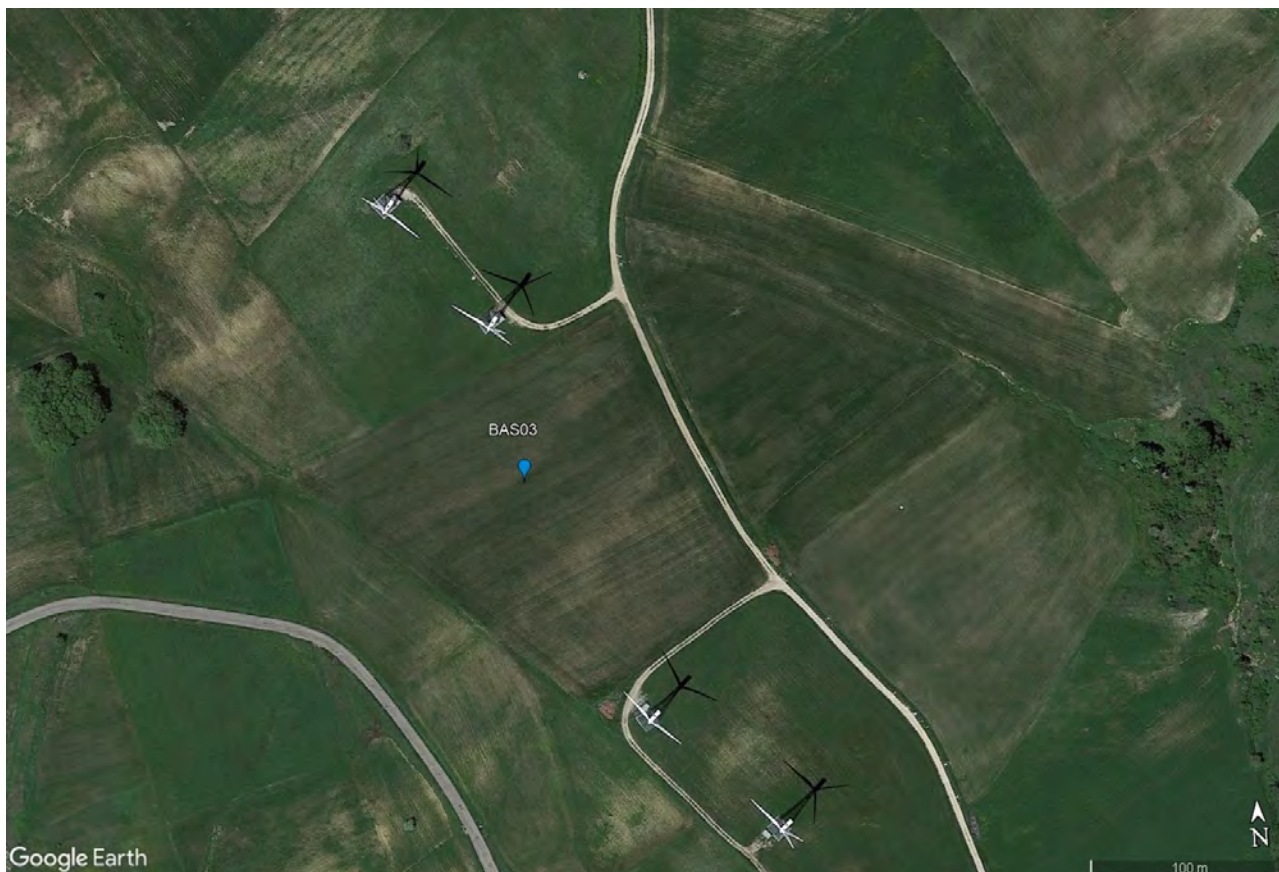
Scala 1:150

Profondità metri	Spess. metri	SIMBOLO	DESCRIZIONE LITOLOGICA	% Carot	Camp. S=shelby O=Osterberg M=Mazier	Tubo Dow-hole	H <sub>2</sub> O	SPT A= punta aperta C=punta chiusa	Nspt
1			Limo argilloso di colore bruno-rossiccio molto alterato, plastico e compressibile, in parte paleosuolizzato						
2	2,0				0,8 C1				
3			Limo debolmente argilloso di colore rossastro, plastico compressibile con inclusi rari clasti calcarei minuti.						
4									
5	4,9				5,0				
6					C1 S				
7					5,5				
8			Limo debolmente argilloso a luoghi debolmente sabbioso di colore prevalentemente rossastro con bande, sfumature e livelli grigiastri- verdastri. A Tratti si rienviene una struttura scagliettata, a luoghi anche marnosa. Si presenta mediamente compatto al top e compatto verso la base.					A Mt 8,0 (7-7-15)	22
9									
10									
11					11,0				
12					C2 S				
13					11,5				
14									
15	14,9				15,0			A Mt 13,5 (5-21-25)	46
16					C3 M				
17					15,5				
18					16,0 C2 A				
19									
20									
21									
22								A Mt 21,4 (32-38-35)	73
23									
24			Limo debolmente argilloso a luoghi anche sabbioso di colore grigio in genere compatto, presenza di inclusi clasti calcarenitici centimetri.rare sfumature rossastre tra 20,0+20,3 metri						
25									
26									
27					25,0				
28					C4 M				
29					25,5				
30	30,0	Fine Foro			29,0 C3 A			C Mt 28,9 (36-Rifiuto)	Rf
31									
32									
33									



## INDAGINE SISMICA DOWN-HOLE DH03

### Ubicazione



### Normativa di riferimento

I disastrosi terremoti che negli ultimi anni hanno interessato l'Italia hanno determinato una riclassificazione sismica del territorio nazionale e una rivisitazione della normativa sismica che regola le costruzioni ricadenti in zone sismiche. Le Nuove Norme Tecniche sulle Costruzioni (NTC 17 gennaio 2018<sup>1</sup>), la normativa tecnica europea (Eurocodici EC7<sup>2</sup> e EC8<sup>3</sup>) e le più avanzate normative internazionali<sup>4</sup> disciplinano la progettazione e la costruzione di nuovi edifici soggetti ad azioni sismiche e la valutazione della sicurezza e degli interventi di adeguamento su edifici soggetti al medesimo tipo di azioni. Tali norme hanno lo scopo di assicurare che in caso di evento sismico sia protetta la vita umana, siano limitati i danni e rimangano funzionanti le strutture essenziali agli interventi di protezione civile. Fra le novità più importanti della nuova normativa tecnica in materia di progettazione antisismica vi è l'estensione della zonazione sismica a tutto il territorio nazionale.

La necessità di investigare il sottosuolo ha indirizzato i ricercatori a studiare tecniche non invasive, e quindi economiche, veloci e pratiche, per effettuare caratterizzazioni sismostratigrafiche del sottosuolo. Per ottemperare a quanto prescritto dalla normativa vigente è necessario determinare le azioni sismiche previste su nuove costruzioni, ampliamenti e ristrutturazioni importanti che ricadono in zona sismica, attraverso la determinazione della  $V_{s,eq}$  in m/s (velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio). A tale parametro vengono attribuiti intervalli di variazione a cui corrispondono differenti categorie di sottosuolo (§ 3.2.2 NTC 2018). Il parametro  $V_{s,eq}$  è calcolato mediante la seguente espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}} \text{ .m/s]$$

<sup>1</sup> Decreto del Ministero delle Infrastrutture 17 gennaio 2018, pubblicato sul supplemento ordinario n. 42 del 20 febbraio 2018

<sup>2</sup> CEN 1994, Geotechnical Design, General Rules, European Committee for Standardisation (CEN), Eurocode 7 Part 1.

<sup>3</sup> CEN 2003, Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, Final Draft, prEN 1998-1, Brussels;

<sup>4</sup> CEN 2004, Design of structures for earthquake resistance - Part 3: Assessment and retrofitting for buildings, Draft No 7, prEN 1998-3, Brussels.

<sup>5</sup> Applied Technology Council, 1996, Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Volume 1, California;

ACI 318, Building Code Requirements for Reinforced Concrete and Commentary, American Concrete Institute, Michigan, 2000;

Standards New Zealand, The design of concrete structures, NZS 3101, Wellington, 1995;

Canada Standards, The design of concrete structures, CSA-A23.3-04, Canada, 2005.



**Accettazione n° 1947 del 20.06.2023**

**Richiedente:** Dott. Geol. Nazario Di Lella

**Committente:** IVPC srl

**Progetto:** progetto di rifacimento di un parco eolico in provincia di Benevento pari a 146,40MW su 24 aerogeneratori

**Località** F.46 p.lla 47 -Comune di Baselice (BN)

**Data esecuzione:** 27.07.2023

**Rapporto di prova:** n° 910 del 27.07.2023

dove:

$V_{s,i}$ : velocità delle onde di taglio nell' i-esimo strato

$h_i$ : spessore in metri dello strato i-esimo

N: numero di strati

H: profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione. Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  è definita dal parametro  $V_{s,30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

La determinazione della  $V_{s,eq}$  avviene attraverso specifiche indagini geofisiche che si basano sulla propagazione delle onde sismiche nel sottosuolo.

In generale, le indagini sismiche si dividono in attive e passive. Le prime consistono nella generazione di onde sismiche che si propagano nel sottosuolo in seguito ad una energizzazione, che avviene tramite massa battente o scoppio, in un punto sorgente. Le onde generate vengono successivamente registrate da geofoni, rilevatori del moto del suolo, disposti lungo una linea sismica. Le indagini sismiche passive, invece, sono caratterizzate dalla registrazione del rumore sismico generato da sorgenti naturali e/o artificiali (rumore antropico).

#### Indagine sismica con tecnica "Down-Hole"

L'indagine sismica in foro di tipo down-hole viene effettuata mediante l'utilizzo di una sorgente energizzante in superficie ed una sonda di ricezione in configurazione triassiale calata in foro. La sonda di ricezione triassiale è costituita da tre geofoni (uno verticale e due orizzontali posti ortogonalmente tra di loro). Uno specifico sistema di tipo meccanico permette alla sonda di ancorarsi alle pareti del foro alle profondità stabilite. Il geofono verticale registra l'arrivo delle onde P, mentre i due geofoni orizzontali registrano l'arrivo delle onde S. Nella tecnica down-hole un sismografo registra il treno d'onda generato dalla sorgente ed arrivato al ricevitore calato in foro; ne risulta un sismogramma nel quale si possono individuare i tempi di arrivo delle onde dirette (onde P) e di taglio (onde S), a seconda di come viene direzionata l'energizzazione e del ricevitore utilizzato. Dal risultante tempo di arrivo delle onde sismiche tramite il percorso diretto tra sorgente e ricevitore si può risalire alle velocità sismiche P ed S per quanto riguarda il terreno indagato, sino alla profondità raggiunta dalla sonda triassiale ( $\text{Velocità sismica [m/s]} = \text{distanza sorgente-ricevitore [m]} / \text{tempo di percorrenza [millisecondi]}$ ). La sorgente energizzante è costituita da una massa battente di 8 kg. Per la generazione delle onde P viene effettuata un'energizzazione verticale su piastra mentre per la generazione delle onde S l'energizzazione è orizzontale su un lato o entrambi i lati di una traversina di legno posta sotto le ruote di un automezzo, il cui peso ha il compito di rendere la stessa più solidale col terreno in modo da trasmettere al meglio le onde di taglio generate.

#### Strumentazione utilizzata per tecnica Down-Hole

L'indagine è stata condotta mediante l'utilizzo del sismografo GEA24 della PASI srl (via Galliari 5/E TORINO, con canali a 24 bit (con PC esterno) adatto a RIFRAZIONE, RIFLESSIONE SUPERFICIALE, ONDE DI SUPERFICIE (MASW, Re.Mi.,  $V_{s,eq}$ , MAAM, ESAC, ecc.) HVSR/ VIBRAZIONI, DOWNHOLE, CROSSHOLE, utilizzando un Geofono da foro 3D "GFA-50"

I segnali sismici acquisiti sono stati successivamente elaborati con un apposito programma INTERSISM della GeoSoft dell'ing. Giorgio Scioldo, per la determinazione della sismostratigrafia del sottosuolo.

Il direttore del laboratorio

Dott. Geol. Umberto Lonardo



INDAGINI GEOGNOSTICHE - GEOTECNICA - SISMICA

GEO-TECNICA SRL – Zona Industriale Ponte Valentino  
82100 Benevento www.geo-tecnica.it e-mail: informazioni@geo-tecnica.it

**Accettazione n° 1947 del 20.06.2023**

**Richiedente:** Dott. Geol. Nazario Di Lella

**Committente:** IVPC srl

**Progetto:** progetto di rifacimento di un parco eolico in provincia di Benevento pari a 146,40MW su 24 aerogeneratori

**Località** F.46 p.lla 47 -Comune di Baselice (BN)

**Data esecuzione:** 27.07.2023

**Rapporto di prova:** n° 910 del 27.07.2023

## **Premessa**

Il sottoscritto dott. geol. Giuseppe Pasquale, iscritto all'Ordine dei Geologi della Regione Campania al n. 2319, veniva incaricato dalla GEO-TECNICA srl con sede alla Z.I. Ponte Valentino-Benevento di eseguire la caratterizzazione sismica nel Comune di Baselice (BN), Località F.46 p.la 47, per i lavori relativi a "progetto di rifacimento di un parco eolico in provincia di Benevento pari a 146,40MW su 24 aerogeneratori". La ditta committente è rappresentata dall' IVPC srl.

Obiettivo della presente relazione geofisica è quello di definire, all'interno del sondaggio geognostico BAS 03, secondo quanto previsto dalla normativa vigente in materia il parametro  $V_{s,eq}$  attraverso la stima delle velocità dei terreni con l'esecuzione di n. 1 prova sismica di tipo DOWN-HOLE mediante la caratterizzazione dinamica del sottosuolo con l'individuazione delle principali unità sismostratigrafiche e delle relative proprietà elastiche.

Di seguito vengono riportati i risultati delle elaborazioni dell'indagine eseguita.

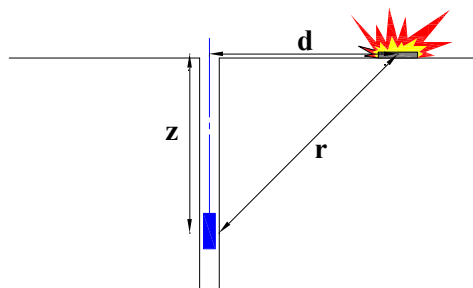
Prova sismica in foro tipo DOWN-HOLE DH03: rapporto di prova n. 910 del 27.07.2023

### Acquisizione ed elaborazione dei dati DH03

La prova sismica DH è stata eseguita all'interno del sondaggio geognostico BAS 03 opportunamente condizionato e per la registrazione delle onde sismiche è stato utilizzato un geofono tridimensionale da foro (o sonda geofonica). L'ancoraggio della sonda alla parete della tubazione (PVC  $\varnothing$  80 mm) è stato garantito da un pistone pneumatico azionato da un dispositivo ad aria compressa.

Per garantire la generazione degli impulsi P ed S è stata utilizzata, come fonte di energizzazione, una massa battente di 8 kg, e per ciascun punto di misura sono state effettuate 2 battute, una verticale e una orizzontale.

Nel caso in esame, la sorgente è stata posizionata ad una distanza di 1,00 m dal boccaforo (Tabella 1), per questo motivo nella fase di elaborazione dei dati è stata effettuata la correzione dei tempi. Se  $d$  è la distanza della sorgente dall'asse del foro (Figura 1),  $r$  la distanza fra la sorgente e il ricevitore,  $z$  la profondità di misura è possibile ottenere i tempi corretti ( $t_{corr}$ ) mediante la seguente formula di conversione:



$$t_{corr} = \frac{z}{r} t$$

Figura 1. Schema down-hole

### Tabella 1: Geometria di acquisizione

Distanza da boccaforo (m)	1,00
Profondità raggiunta (m)	30,0
Intervallo di misura (m)	1,0

Attraverso uno specifico software per l'elaborazione dei dati sismici in foro (INTERSISM) le tracce sismiche relative alle onde P ed S di ogni sismogramma sono state separate e raggruppate in seguito in tre files distinti (uno per le onde P e due per onde S) contenenti tutte le tracce P o S alle diverse profondità. Dei due sismogrammi S è stato scelto quello col dato migliore, ovvero quello che al momento dell'acquisizione in foro era

orientato nella posizione più favorevole. Successivamente si è proceduto alla lettura dei tempi di arrivo.

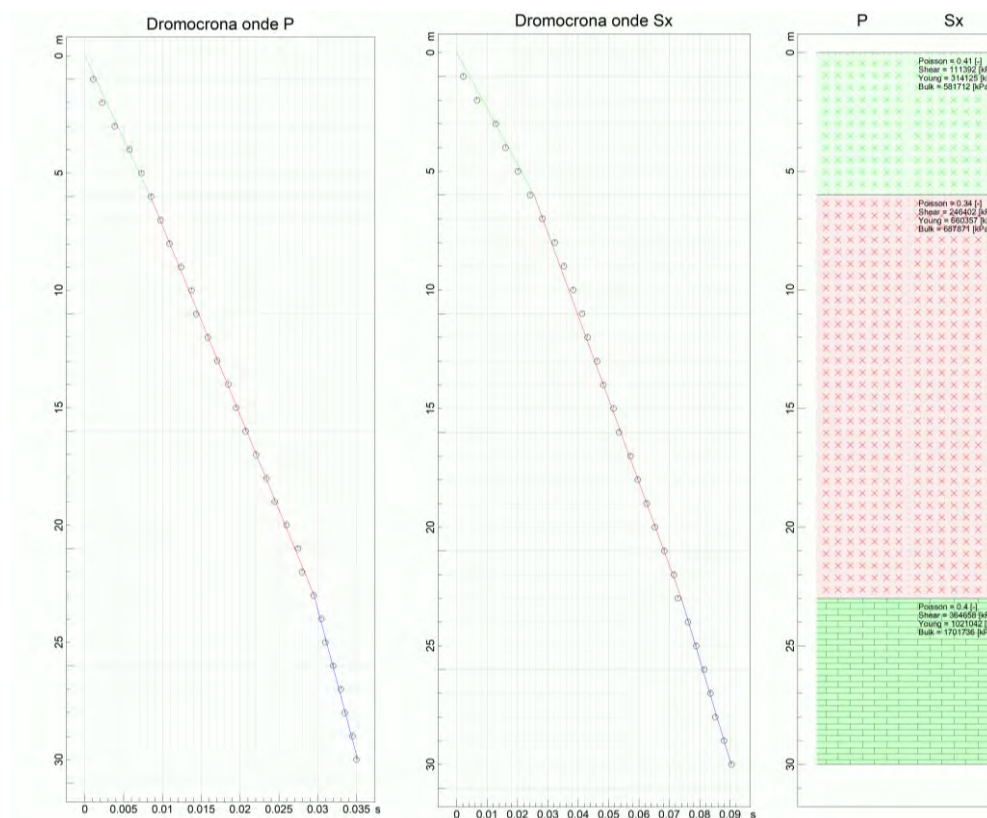
Nella Tabella 2 vengono riportati i tempi corretti.

N° Geof.	Profondità [m]	Onde P [ms]	Onde S (X) [ms]	Onde P (corretti) [ms]	Onde S (X) (corretti) [ms]
1	1.00	1.50	3.00	1.06	2.12
2	2.00	2.50	7.50	2.24	6.71
3	3.00	4.06	13.50	3.85	12.81
4	4.00	5.91	16.50	5.74	16.01
5	5.00	7.41	20.50	7.26	20.10
6	6.00	8.62	24.50	8.50	24.17
7	7.00	9.83	28.50	9.73	28.21
8	8.00	10.97	32.50	10.89	32.25
9	9.00	12.47	35.50	12.39	35.28
10	10.00	13.82	38.56	13.75	38.36
11	11.00	14.39	41.45	14.33	41.28
12	12.00	15.89	43.24	15.83	43.09
13	13.00	17.10	46.36	17.05	46.22
14	14.00	18.52	48.36	18.47	48.24
15	15.00	19.52	51.70	19.48	51.59
16	16.00	20.73	53.49	20.69	53.38
17	17.00	22.08	57.28	22.04	57.18
18	18.00	23.44	59.73	23.40	59.64
19	19.00	24.50	62.62	24.47	62.54
20	20.00	26.00	65.30	25.97	65.22
21	21.00	27.50	68.42	27.47	68.34
22	22.00	28.00	71.54	27.97	71.47
23	23.00	29.50	72.88	29.47	72.81
24	24.00	30.50	76.22	30.47	76.15
25	25.00	31.00	78.89	30.98	78.83
26	26.00	32.00	81.57	31.98	81.51
27	27.00	33.00	83.57	32.98	83.52
28	28.00	33.50	85.13	33.48	85.08
29	29.00	34.50	88.03	34.48	87.98
30	30.00	35.00	90.48	34.98	90.43

**Tabella 2: tempi corretti secondo lo schema riportato in Figura 1**

Calcolati i tempi corretti per le onde P ed S, è stato realizzato il grafico tempo/profondità ed individuati i tratti a velocità omogenea (dromocrone) (Figura 2). La velocità media delle onde sismiche, relativa a strati omogenei di terreno, è rappresentata dalla pendenza dei segmenti di retta che meglio interpolano i punti sperimentali. In Figura 2 vengono riportate le dromocrone e i relativi sismostrati individuati.





**Figura 2: Dromocrone delle onde P ed S e relativi sismostrati**

Nelle seguenti tabelle vengono riportati i parametri sismici ed elastici relativi agli strati individuati.

**VELOCITA' ONDE P**

Strato	Profondità [m]	Velocità [m/s]
1	6	710
2	23	807
3	30	1243

**PARAMETRI ONDE SX**

Strato	Profondità [m]	Velocità [m/s]	Poisson [-]	Shear [kPa]	Young [kPa]	Bulk [kPa]
1	6	236	0.41	111392	314125	581712
2	23	351	0.34	246402	660357	687871
3	30	427	0.40	364658	1021042	1701736

Ai sensi del DM 17 gennaio 2018, si riporta il valore della  $V_{s,eq}$  (con  $H=30m$ ) riferito all'attuale piano campagna.

Prof. (m)	$V_{s,eq}$ (m/s)
0-30	333

## Conclusioni

L'indagine sismica (DOWN-HOLE) ha consentito di determinare il profilo verticale della Vs e, di conseguenza, del parametro Vs,eq come riportato nelle precedenti tabelle.

In riferimento alla Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni si riportano le categorie di sottosuolo di riferimento distinte in funzione del parametro Vs,eq\* (Tabella 3).

Tabella 3: Categorie di sottosuolo (Tabella 3.2.II NTC 2018)

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Il direttore del laboratorio  
Dott. Geol. Umberto Lonardo

Lo sperimentatore incaricato  
Dott. Geol. Giuseppe Pasquale

Elab. 97/23

\* La classificazione del terreno è di pertinenza dell'utente che ne deve valutare la tipologia sulla base della normativa vigente (NTC 2018) tenendo conto della locale successione stratigrafica. Si ricorda che per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio Vs,eq è definita dal parametro Vs,30, ottenuto ponendo H=30 m nella espressione [3.2.1] del § 3.2.2 NTC 2018 e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.





Accettazione n°1949

del 20 giugno 2023

Rapporti di prova n°797 e n°912 anno 2023



RICHIEDENTE:  
Dott. Geol. Nazario DI LELLA

COMMITTENTE:  
IVPC SRL

**PROGETTO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO IN  
PROVINCIA DI BENEVENTO DA 146,40 MW SU 24  
AEROGENERATORI**

Coord. UTM Long. 493355 Lat 4578462 F 04 p.IIa 26  
FVF 01 - Comune di Foiano Val Fortore (BN)

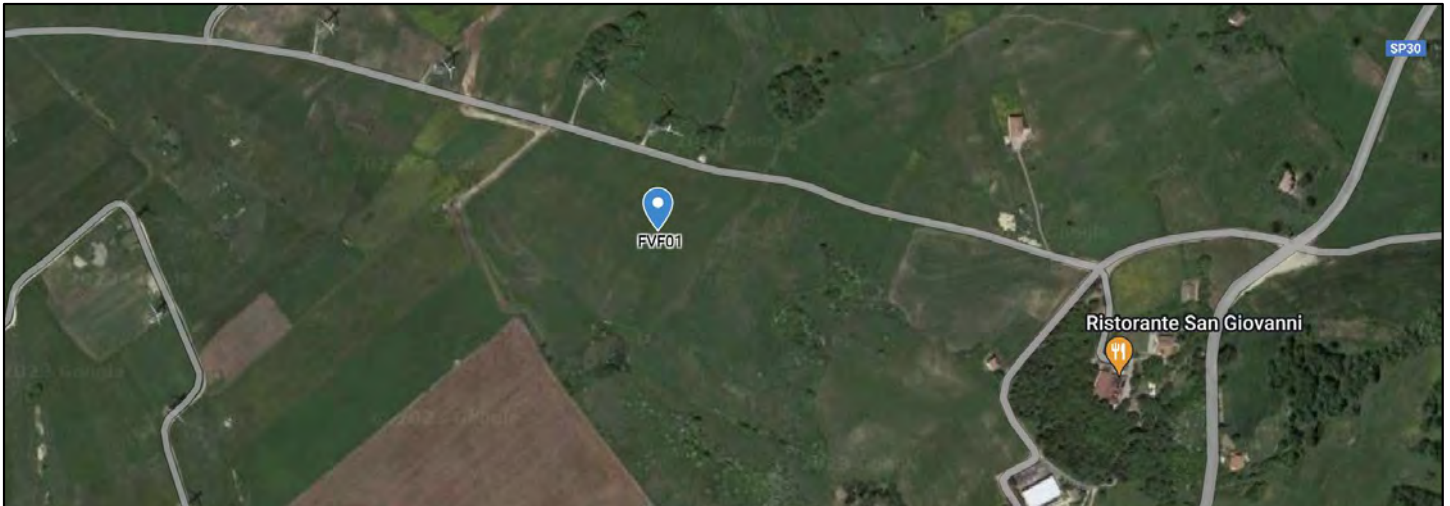


## INDAGINI IN SITO

### PROVE ESEGUITE

- Sondaggio geognostico FVF 01 a mt 30,0 rapp. di prova 797/23
- Prova sismica in foro del tipo Down-hole DH1 rapp di prova 912/23

### STRALCIO CON UBICAZIONE DELLE PROVE



### DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA

#### CAROTAGGIO CONTINUO

Tutte le indagini eseguite sono state effettuate a carotaggio continuo con il prelievo della carota disposta in apposite cassette catalogatrici. Il carotaggio è stato eseguito a secco, nei terreni più sciolti e con circolazione di fluido in quelli di natura litoide. L'espulsione della carota è stata effettuata o con spinta idraulica (acqua) o in caso di materiale litoide tramite martellamento del carotiere, il tutto raccolto in contenitore adatto e riposto, secondo la profondità, nelle apposite cassette. La strumentazione utilizzata per le indagini è la seguente: Sonda perforatrice a rotazione di marca Trivel MAc modello TM10FM, anno di produzione 2014, peso circa 10000 kg, coppia massima di rotazione 1000 kgm, velocità di rotazione massima 450 g/min; corsa di 3300 mm, Aste lunghezza 1500 mm diametro 76 mm spessore 6,6 mm, Carotiere di tipo semplice diametro 101 lunghezza 3000 mm e corona con denti in widia, Pompa fanghi del tipo a vite con pressione massima di esercizio di 30 bar

#### PRELIEVO DEI CAMPIONI INDISTURBATI

Raggiunta la profondità desiderata con la perforazione si è proceduti alla manovra di pulizia del foro mediante lavaggio con acqua pulita tale da rimuovere dal fondo del foro eventuale fango e detriti lasciati dalla manovra precedente. Il prelievo dei campioni è stato eseguito, a seconda del grado di consistenza del terreno, con un campionatore a pressione di tipo shelby con fustella a pareti sottili, nei terreni meno consistenti e con un campionatore rotativo denominato "Drill" nei terreni consistenti, litoidi e semilitoidi. Tale campionatore, che viene usato con circolazione di fluido, è costituito da una parte esterna con corona sottile al widia che esegue il taglio del terreno e da una fustella interna in acciaio collegata tramite una testa libera che permette alla fustella di inserirsi nel terreno senza ruotare. Il campione indisturbato, prelevato nella fustella, è stato regolarmente paraffinato e contrassegnato con i dati relativi al sondaggio, alla profondità e alla data di prelievo.

#### STANDARD PENETRATION TEST

La prova SPT si esegue durante la perforazione. Consiste nel registrare il numero di colpi necessari per far penetrare di 45 cm nel terreno a fondo foro un tubo campionatore di dimensioni standard, collegato alla superficie mediante batteria di aste in testa sulle quali agisce un maglio del peso di 63,5 kg che cade liberamente da un'altezza di 0,75 m.

Durante la prova si misura :

N 1= numero di colpi di maglio necessari a provocare l'avanzamento del campionatore per i primi 15 cm

N 2= numero di colpi che provoca la penetrazione del campionatore nei successivi 15 cm;

N 3= numero di colpi necessari per gli ultimi 15 cm di avanzamento.

Si assume come resistenza alla penetrazione il valore:  $NSPT = N2 + N3$

Si utilizzano le seguenti attrezzature standard:

Aste d'infissione del diametro esterno 50 mm e peso di 7 kg/m; Testa di battuta di acciaio avvitata sulle aste; Maglio di acciaio di 63,5 kg; Dispositivo automatico che consente la caduta del maglio da un'altezza di 0,76 m; Centratore di guida per le aste fra la testa di battuta e il piano campagna; Campionatore standard (detto Raymond dalla società che lo ha introdotto per prima). Si tratta di un tubo carotiere avente diametro esterno di 51 mm, spessore 16 mm e lunghezza complessiva comprendente scarpa e raccordo alle aste di 813 mm. Nei terreni ghiaiosi la scarpa del carotiere viene sostituita da una punta conica di diametro 51 mm e angolo 60°. Il campionatore Raymond consta di un tubo diviso longitudinalmente a metà, i due semitubi sono tenuti insieme, durante l'infissione, da una scarpa tagliente avvitata alla base e da un anello in testa. Alla fine della prova si svita la scarpa, il carotiere si apre in due permettendo di estrarre il campione

**Profondità:** 30,00 mt **Cassette:** n°6 **Quota p.c. data esecuzione:** da 26/6/2023 al 26/6/2023 **Attrezzatura:** Trivel Mac TM10  
**Tipo carotaggio:** continuo Ø 101 mm **Tipo carotiere:** semplice **Rivestimento:** Ø 127 mm a mt 1,5 **Operatore:** Giuseppe Giglio

**Condizionamento foro e note:**

Foro condizionato con tubo in pvc per prova down-hole in foro

1,0 C1 A Campioni rimaneggiati ad uso ambientale A, (1,0 = profondità e C1 = n° campione)

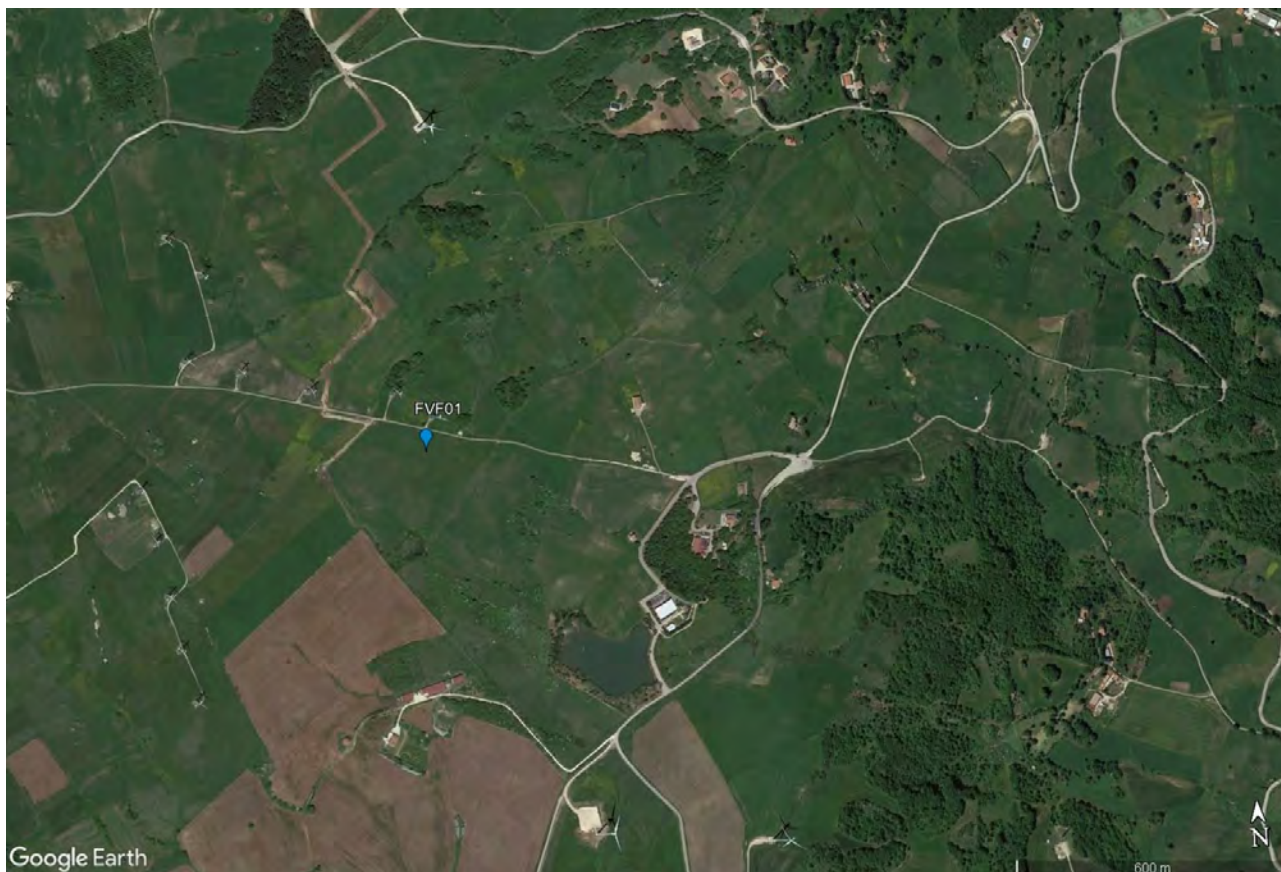
Scala 1:150

Profondità metri	Spess. metri	SIMBOLO	DESCRIZIONE LITOLOGICA	% Carot 25 50 75	Camp. S=shelby O=Osterberg M=Mazier	Tubo Dow-hole	H <sub>2</sub> O	SPT A= punta aperta C=punta chiusa	Nspt
1	0,5		Limo sabbioso bruno - terreno vegetale.						
2	1,6		Limo debolmente argilloso di colore rossastro con depositi carbonatici in dissoluzione. Poco compatto.		0,8 C1A				
3			Limo debolmente argilloso di colore rossastro con livelli verdastri a tratti struttura scagliosa, di media consistenza.						
4					4,0				
5	4,5		Trovante calcarenitico in blocchi centimetrici e decimetrici in matrice limo-argillosa.		C1 S				
	4,8				4,5				
6			Limo debolmente argilloso di colore rossastro con strutture spesso scagliosa argillo-marnosa, rare sono le sfumature e/o livelli verdastri o grigiastri, in alcuni punti sono presenti piccoli clasti marnosi o inclusi litoidi fino a 7-8 centimetri di natura calcarea che si rinvencono tra 13,0 e 14,0 metri, tra 16,8 e 17,7 e tra 20,3 e 20,8. La consistenza va da media ad aumentare con la profondità, presenza in alcuni punti di limo sabbioso con debole umidità. Presenza anche di inclusi/livelli di calcari biancastri intensamente fratturati costituiti da una sabbia calcarea e piccoli clasti) in fase anche di dissoluzione.						
7								A Mt 7,0 (5-7-10)	17
8									
9									
10						9,5			
11						C2 S			
12						10,0			
13								A Mt 13,3 (18-23-27)	50
14									
15						14,5			
16						C3 S			
17					15,0				
18					15,0 C2A				
19									
20							C Mt 19,0 (25-29-36)	65	
21									
22									
23									
24									
25					24,5				
26					C4 M				
27					25,0				
28									
29							C Mt 28,5 (24-30-38)	66	
30	30,0	Fine Foro			29,0 C3 A				
31									
32									
33									



## INDAGINE SISMICA DOWN-HOLE DH1

### Ubicazione



### Normativa di riferimento

I disastrosi terremoti che negli ultimi anni hanno interessato l'Italia hanno determinato una riclassificazione sismica del territorio nazionale e una rivisitazione della normativa sismica che regola le costruzioni ricadenti in zone sismiche. Le Nuove Norme Tecniche sulle Costruzioni (NTC 17 gennaio 2018<sup>1</sup>), la normativa tecnica europea (Eurocodici EC7<sup>2</sup> e EC8<sup>3</sup>) e le più avanzate normative internazionali<sup>4</sup> disciplinano la progettazione e la costruzione di nuovi edifici soggetti ad azioni sismiche e la valutazione della sicurezza e degli interventi di adeguamento su edifici soggetti al medesimo tipo di azioni. Tali norme hanno lo scopo di assicurare che in caso di evento sismico sia protetta la vita umana, siano limitati i danni e rimangano funzionanti le strutture essenziali agli interventi di protezione civile. Fra le novità più importanti della nuova normativa tecnica in materia di progettazione antisismica vi è l'estensione della zonazione sismica a tutto il territorio nazionale.

La necessità di investigare il sottosuolo ha indirizzato i ricercatori a studiare tecniche non invasive, e quindi economiche, veloci e pratiche, per effettuare caratterizzazioni sismostratigrafiche del sottosuolo. Per ottemperare a quanto prescritto dalla normativa vigente è necessario determinare le azioni sismiche previste su nuove costruzioni, ampliamenti e ristrutturazioni importanti che ricadono in zona sismica, attraverso la determinazione della  $V_{s,eq}$  in m/s (velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio). A tale parametro vengono attribuiti intervalli di variazione a cui corrispondono differenti categorie di sottosuolo (§ 3.2.2 NTC 2018). Il parametro  $V_{s,eq}$  è calcolato mediante la seguente espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}} \text{ .m/s]$$

<sup>1</sup> Decreto del Ministero delle Infrastrutture 17 gennaio 2018, pubblicato sul supplemento ordinario n. 42 del 20 febbraio 2018

<sup>2</sup> CEN 1994, Geotechnical Design, General Rules, European Committee for Standardisation (CEN), Eurocode 7 Part 1.

<sup>3</sup> CEN 2003, Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, Final Draft, prEN 1998-1, Brussels;

<sup>4</sup> CEN 2004, Design of structures for earthquake resistance – Part 3: Assessment and retrofitting for buildings, Draft No 7, prEN 1998-3, Brussels.

<sup>5</sup> Applied Technology Council, 1996, Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Volume 1, California;

ACI 318, Building Code Requirements for Reinforced Concrete and Commentary, American Concrete Institute, Michigan, 2000;

Standards New Zealand, The design of concrete structures, NZS 3101, Wellington, 1995;

Canada Standards, The design of concrete structures, CSA-A23.3-04, Canada, 2005.



GEO-TECNICA SRL – Zona Industriale Ponte Valentino  
82100 Benevento [www.geo-tecnica.it](http://www.geo-tecnica.it) e-mail: [informazioni@geo-tecnica.it](mailto:informazioni@geo-tecnica.it)

**Accettazione n° 1949 del 20.06.2023**

**Richiedente:** Dott. Geol. Nazario Di Lella

**Committente:** IVPC srl

**Progetto:** progetto di rifacimento di un parco eolico in provincia di Benevento pari a 146,40MW su 24 aerogeneratori  
**Località** F.4 p.lla 26 -Comune di Foiano Val Fortore (BN)

**Data esecuzione:** 27.07.2023

**Rapporto di prova:** n° 912 del 27.07.2023

dove:

$V_{s,i}$ : velocità delle onde di taglio nell' i-esimo strato

$h_i$ : spessore in metri dello strato i-esimo

N: numero di strati

H: profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione. Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  è definita dal parametro  $V_{s,30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

La determinazione della  $V_{s,eq}$  avviene attraverso specifiche indagini geofisiche che si basano sulla propagazione delle onde sismiche nel sottosuolo.

In generale, le indagini sismiche si dividono in attive e passive. Le prime consistono nella generazione di onde sismiche che si propagano nel sottosuolo in seguito ad una energizzazione, che avviene tramite massa battente o scoppio, in un punto sorgente. Le onde generate vengono successivamente registrate da geofoni, rilevatori del moto del suolo, disposti lungo una linea sismica. Le indagini sismiche passive, invece, sono caratterizzate dalla registrazione del rumore sismico generato da sorgenti naturali e/o artificiali (rumore antropico).

#### Indagine sismica con tecnica "Down-Hole"

L'indagine sismica in foro di tipo down-hole viene effettuata mediante l'utilizzo di una sorgente energizzante in superficie ed una sonda di ricezione in configurazione triassiale calata in foro. La sonda di ricezione triassiale è costituita da tre geofoni (uno verticale e due orizzontali posti ortogonalmente tra di loro). Uno specifico sistema di tipo meccanico permette alla sonda di ancorarsi alle pareti del foro alle profondità stabilite. Il geofono verticale registra l'arrivo delle onde P, mentre i due geofoni orizzontali registrano l'arrivo delle onde S. Nella tecnica down-hole un sismografo registra il treno d'onda generato dalla sorgente ed arrivato al ricevitore calato in foro; ne risulta un sismogramma nel quale si possono individuare i tempi di arrivo delle onde dirette (onde P) e di taglio (onde S), a seconda di come viene direzionata l'energizzazione e del ricevitore utilizzato. Dal risultante tempo di arrivo delle onde sismiche tramite il percorso diretto tra sorgente e ricevitore si può risalire alle velocità sismiche P ed S per quanto riguarda il terreno indagato, sino alla profondità raggiunta dalla sonda triassiale ( $\text{Velocità sismica [m/s]} = \text{distanza sorgente-ricevitore [m]} / \text{tempo di percorrenza [millisecondi]}$ ). La sorgente energizzante è costituita da una massa battente di 8 kg. Per la generazione delle onde P viene effettuata un'energizzazione verticale su piastra mentre per la generazione delle onde S l'energizzazione è orizzontale su un lato o entrambi i lati di una traversina di legno posta sotto le ruote di un automezzo, il cui peso ha il compito di rendere la stessa più solidale col terreno in modo da trasmettere al meglio le onde di taglio generate.

#### Strumentazione utilizzata per tecnica Down-Hole

L'indagine è stata condotta mediante l'utilizzo del sismografo GEA24 della PASI srl (via Galliari 5/E TORINO, con canali a 24 bit (con PC esterno) adatto a RIFRAZIONE, RIFLESSIONE SUPERFICIALE, ONDE DI SUPERFICIE (MASW, Re.Mi.,  $V_{s,eq}$ , MAAM, ESAC, ecc.) HVSR/ VIBRAZIONI, DOWNHOLE, CROSSHOLE, utilizzando un Geofono da foro 3D "GFA-50"

I segnali sismici acquisiti sono stati successivamente elaborati con un apposito programma INTERSISM della GeoSoft dell'ing. Giorgio Sciolto, per la determinazione della sismostratigrafia del sottosuolo.

Il direttore del laboratorio

Dott. Geol. Umberto Lonardo







INDAGINI GEOGNOSTICHE - GEOTECNICA - SISMICA

GEO-TECNICA SRL – Zona Industriale Ponte Valentino  
82100 Benevento www.geo-tecnica.it e-mail: informazioni@geo-tecnica.it

**Accettazione n° 1949 del 20.06.2023**

**Richiedente:** Dott. Geol. Nazario Di Lella

**Committente:** IVPC srl

**Progetto:** progetto di rifacimento di un parco eolico in provincia di Benevento pari a 146,40MW su 24 aerogeneratori

**Località** F.4 p.lla 26 -Comune di Foiano Val Fortore (BN)

**Data esecuzione:** 27.07.2023

**Rapporto di prova:** n° 912 del 27.07.2023

## **Premessa**

Il sottoscritto dott. geol. Giuseppe Pasquale, iscritto all'Ordine dei Geologi della Regione Campania al n. 2319, veniva incaricato dalla GEO-TECNICA srl con sede alla Z.I. Ponte Valentino-Benevento di eseguire la caratterizzazione sismica nel Comune di Foiano Val Fortore (BN), Località F.4 p.la 26, per i lavori relativi a "progetto di rifacimento di un parco eolico in provincia di Benevento pari a 146,40MW su 24 aerogeneratori". La ditta committente è rappresentata dall' IVPC srl.

Obiettivo della presente relazione geofisica è quello di definire, all'interno del sondaggio geognostico FVF 01, secondo quanto previsto dalla normativa vigente in materia il parametro  $V_{s,eq}$  attraverso la stima delle velocità dei terreni con l'esecuzione di n. 1 prova sismica di tipo DOWN-HOLE mediante la caratterizzazione dinamica del sottosuolo con l'individuazione delle principali unità sismostratigrafiche e delle relative proprietà elastiche.

Di seguito vengono riportati i risultati delle elaborazioni dell'indagine eseguita.

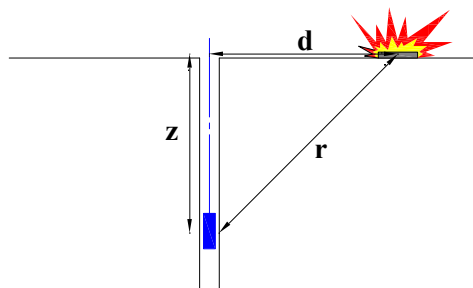
Prova sismica in foro tipo DOWN-HOLE DH1: rapporto di prova n. 912 del 27.07.2023

## Acquisizione ed elaborazione dei dati DH1

La prova sismica DH è stata eseguita all'interno del sondaggio geognostico FVF 01 opportunamente condizionato e per la registrazione delle onde sismiche è stato utilizzato un geofono tridimensionale da foro (o sonda geofonica). L'ancoraggio della sonda alla parete della tubazione (PVC  $\varnothing$  80 mm) è stato garantito da un pistone pneumatico azionato da un dispositivo ad aria compressa.

Per garantire la generazione degli impulsi P ed S è stata utilizzata, come fonte di energizzazione, una massa battente di 8 kg, e per ciascun punto di misura sono state effettuate 2 battute, una verticale e una orizzontale.

Nel caso in esame, la sorgente è stata posizionata ad una distanza di 2,00 m dal boccaforo (Tabella 1), per questo motivo nella fase di elaborazione dei dati è stata effettuata la correzione dei tempi. Se  $d$  è la distanza della sorgente dall'asse del foro (Figura 1),  $r$  la distanza fra la sorgente e il ricevitore,  $z$  la profondità di misura è possibile ottenere i tempi corretti ( $t_{corr}$ ) mediante la seguente formula di conversione:



$$t_{corr} = \frac{z}{r} t$$

Figura 1. Schema down-hole

## Tabella 1: Geometria di acquisizione

Distanza da boccaforo (m)	1,00
Profondità raggiunta (m)	30,0
Intervallo di misura (m)	1,0

Attraverso uno specifico software per l'elaborazione dei dati sismici in foro (INTERSISM) le tracce sismiche relative alle onde P ed S di ogni sismogramma sono state separate e raggruppate in seguito in tre files distinti (uno per le onde P e due per onde S) contenenti tutte le tracce P o S alle diverse profondità. Dei due sismogrammi S è stato scelto quello col dato migliore, ovvero quello che al momento dell'acquisizione in foro era

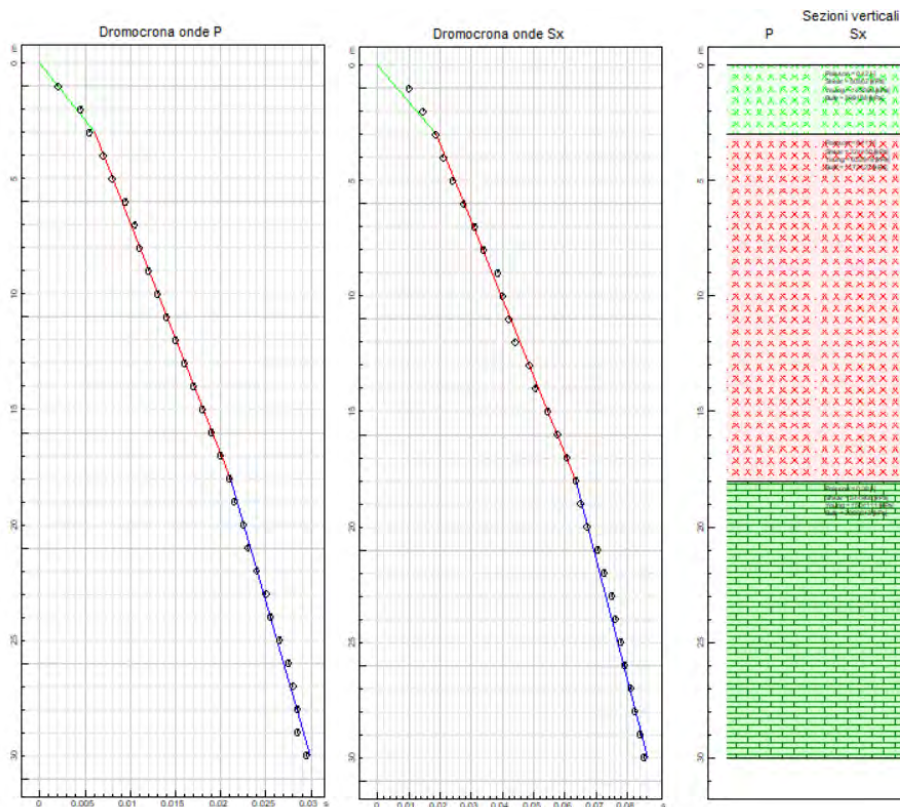
orientato nella posizione più favorevole. Successivamente si è proceduto alla lettura dei tempi di arrivo.

Nella Tabella 2 vengono riportati i tempi corretti.

N° Geof.	Profondità [m]	Onde P [ms]	Onde S (X) [ms]	Onde P (corretti) [ms]	Onde S (X) (corretti) [ms]
1	1.00	2.00	10.00	2.00	10.00
2	2.00	4.50	14.50	4.50	14.50
3	3.00	5.50	18.50	5.50	18.50
4	4.00	7.00	21.00	7.00	21.00
5	5.00	8.00	24.00	8.00	24.00
6	6.00	9.50	27.50	9.50	27.50
7	7.00	10.50	31.00	10.50	31.00
8	8.00	11.00	34.00	11.00	34.00
9	9.00	12.00	38.50	12.00	38.50
10	10.00	13.00	40.00	13.00	40.00
11	11.00	14.00	42.00	14.00	42.00
12	12.00	15.00	44.00	15.00	44.00
13	13.00	16.00	48.50	16.00	48.50
14	14.00	17.00	50.50	17.00	50.50
15	15.00	18.00	54.50	18.00	54.50
16	16.00	19.00	57.50	19.00	57.50
17	17.00	20.00	60.50	20.00	60.50
18	18.00	21.00	63.50	21.00	63.50
19	19.00	21.50	65.00	21.50	65.00
20	20.00	22.50	67.00	22.50	67.00
21	21.00	23.00	70.50	23.00	70.50
22	22.00	24.00	72.50	24.00	72.50
23	23.00	25.00	75.00	25.00	75.00
24	24.00	25.50	76.12	25.50	76.12
25	25.00	26.50	77.83	26.50	77.83
26	26.00	27.50	79.13	27.50	79.13
27	27.00	28.00	81.07	28.00	81.07
28	28.00	28.50	82.29	28.50	82.29
29	29.00	28.50	84.05	28.50	84.05
30	30.00	29.50	85.28	29.50	85.28

**Tabella 2: tempi corretti secondo lo schema riportato in Figura 1**

Calcolati i tempi corretti per le onde P ed S, è stato realizzato il grafico tempo/profondità ed individuati i tratti a velocità omogenea (dromocrone) (Figura 2). La velocità media delle onde sismiche, relativa a strati omogenei di terreno, è rappresentata dalla pendenza dei segmenti di retta che meglio interpolano i punti sperimentali. In Figura 2 vengono riportate le dromocrone e i relativi sismostrati individuati.



**Figura 2: Dromocroni delle onde P ed S e relativi sismostrati**

Nelle seguenti tabelle vengono riportati i parametri sismici ed elastici relativi agli strati individuati.

**VELOCITA' ONDE P**

Strato	Profondità [m]	Velocità [m/s]
1	3	500
2	18	996
3	30	1361

**PARAMETRI ONDE SX**

Strato	Profondità [m]	Velocità [m/s]	Poisson [-]	Shear [kPa]	Young [kPa]	Bulk [kPa]
1	3	159	0.42	50562.0	143596	299158
2	18	335	0.41	224450	632948	1172125
3	30	522	0.38	544968	1504111	2089042

Ai sensi del DM 17 gennaio 2018, si riporta il valore della  $V_{s,eq}$  (con  $H=30m$ ) riferito all'attuale piano campagna.

Prof. (m)	$V_{s,eq}$ (m/s)
0-30	346

## Conclusioni

L'indagine sismica (DOWN-HOLE) ha consentito di determinare il profilo verticale della Vs e, di conseguenza, del parametro Vs,eq come riportato nelle precedenti tabelle.

In riferimento alla Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni si riportano le categorie di sottosuolo di riferimento distinte in funzione del parametro Vs,eq\* (Tabella 3).

Tabella 3: Categorie di sottosuolo (Tabella 3.2.II NTC 2018)

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Il direttore del laboratorio  
Dott. Geol. Umberto Lonardo

Lo sperimentatore incaricato  
Dott. Geol. Giuseppe Pasquale

Elab. 98/23

\* La classificazione del terreno è di pertinenza dell'utente che ne deve valutare la tipologia sulla base della normativa vigente (NTC 2018) tenendo conto della locale successione stratigrafica. Si ricorda che per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio Vs,eq è definita dal parametro Vs,30, ottenuto ponendo H=30 m nella espressione [3.2.1] del § 3.2.2 NTC 2018 e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.





Accettazione n°1945

del 20 giugno 2023

Rapporti di prova n°796 e n° anno 2023



**RICHIEDENTE:**  
**Dott. Geol. Nazario DI LELLA**

**COMMITTENTE:**  
**IVPC SRL**

**PROGETTO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO IN  
PROVINCIA DI BENEVENTO DA 146,40 MW SU 24  
AEROGENERATORI**

Coord. UTM Long. 492767 Lat 4576656 F 01 p.IIa 241  
**MOL 01 - Comune di MOLINARA (BN)**

## INDAGINI IN SITO

### PROVE ESEGUITE

- Sondaggio geognostico MOL 01 a mt 30,0 rapp. di prova 796/23
- Prova sismica in foro del tipo Down-hole DH3 **rapp di prova xxxx/23**

### STRALCIO CON UBICAZIONE DELLE PROVE



### DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA

#### CAROTAGGIO CONTINUO

Tutte le indagini eseguite sono state effettuate a carotaggio continuo con il prelievo della carota disposta in apposite cassette catalogatrici. Il carotaggio è stato eseguito a secco, nei terreni più sciolti e con circolazione di fluido in quelli di natura litoide. L'espulsione della carota è stata effettuata o con spinta idraulica (acqua) o in caso di materiale litoide tramite martellamento del carotiere, il tutto raccolto in contenitore adatto e riposto, secondo la profondità, nelle apposite cassette. La strumentazione utilizzata per le indagini è la seguente: Sonda perforatrice a rotazione di marca Tecnotunnel modello TS 80, anno di produzione 2004, peso circa 7000 kg, coppia massima di rotazione 800 kgm, velocità di rotazione massima 450 g/min; corsa di 3300 mm, Aste lunghezza 1500 mm diametro 76 mm spessore 6,6 mm, Carotiere di tipo semplice diametro 101 lunghezza 3000 mm e corona con denti in widia, Pompa fanghi del tipo a vite con pressione massima di esercizio di 30 bar

#### PRELIEVO DEI CAMPIONI INDISTURBATI

Raggiunta la profondità desiderata con la perforazione si è proceduti alla manovra di pulizia del foro mediante lavaggio con acqua pulita tale da rimuovere dal fondo del foro eventuale fango e detriti lasciati dalla manovra precedente. Il prelievo dei campioni è stato eseguito, a seconda del grado di consistenza del terreno, con un campionatore a pressione di tipo shelby con fustella a pareti sottili, nei terreni meno consistenti e con un campionatore rotativo denominato "Drill" nei terreni consistenti, litoidi e semilitoidi. Tale campionatore, che viene usato con circolazione di fluido, è costituito da una parte esterna con corona sottile al widia che esegue il taglio del terreno e da una fustella interna in acciaio collegata tramite una testa libera che permette alla fustella di inserirsi nel terreno senza ruotare. Il campione indisturbato, prelevato nella fustella, è stato regolarmente paraffinato e contrassegnato con i dati relativi al sondaggio, alla profondità e alla data di prelievo.

#### STANDARD PENETRATION TEST

La prova SPT si esegue durante la perforazione. Consiste nel registrare il numero di colpi necessari per far penetrare di 45 cm nel terreno a fondo foro un tubo campionatore di dimensioni standard, collegato alla superficie mediante batteria di aste in testa sulle quali agisce un maglio del peso di 63,5 kg che cade liberamente da un'altezza di 0,75 m.

Durante la prova si misura :

N 1= numero di colpi di maglio necessari a provocare l'avanzamento del campionatore per i primi 15 cm

N 2= numero di colpi che provoca la penetrazione del campionatore nei successivi 15 cm;

N 3= numero di colpi necessari per gli ultimi 15 cm di avanzamento.

Si assume come resistenza alla penetrazione il valore:  $NSPT = N2 + N3$

Si utilizzano le seguenti attrezzature standard:

Aste d'infissione del diametro esterno 50 mm e peso di 7 kg/m; Testa di battuta di acciaio avvitata sulle aste; Maglio di acciaio di 63,5 kg; Dispositivo automatico che consente la caduta del maglio da un'altezza di 0,76 m; Centratore di guida per le aste fra la testa di battuta e il piano campagna; Campionatore standard (detto Raymond dalla società che lo ha introdotto per prima). Si tratta di un tubo carotiere avente diametro esterno di 51 mm, spessore 16 mm e lunghezza complessiva comprendente scarpa e raccordo alle aste di 813 mm. Nei terreni ghiaiosi la scarpa del carotiere viene sostituita da una punta conica di diametro 51 mm e angolo 60°. Il campionatore Raymond consta di un tubo diviso longitudinalmente a metà, i due semitubi sono tenuti insieme, durante l'infissione, da una scarpa tagliente avvitata alla base e da un anello in testa. Alla fine della prova si svita la scarpa, il carotiere si apre in due permettendo di estrarre il campione



# Sondaggio geognostico MOL 01

Accettazione: n° 1945 del 20-06-2023

Rapporto di prova: n° 795 del 28-06-2023

Committente: IVPV srl

Richiedente: dott. geol. Nazario Di Lella

Progetto: Progetto di rifacimento di un parco eolico in provincia di Benevento pari a 146,40 MW su 24 aerogeneratori

Località: F.1 p.lla 241 Comune: Molinara (BN)

GEO-TECNICA srl - Z. Industriale Ponte Valentino 82100 Benevento  
tel. 0824 313705 www.geo-tecnica.it informazioni@geo-tecnica.it

Lab. Autorizzato Min. II e TT Prove su Terre e Rocce n° 99 del 19/3/18 e succ. aut

Profondità: 30,00 mt Cassette: n°6 Quota p.c. data esecuzione: da 28/6/2023 al 28/6/2023 Attrezzatura: Tecnotunnel TS80  
Tipo carotaggio: continuo Ø 101 mm Tipo carotiere: semplice Rivestimento: Ø 127 mm a mt 3,0 Operatore: Rocco Marcarelli

Condizionamento foro e note:

Foro condizionato con tubo in pvc per prova down-hole in foro

1,0 C1 A Campioni rimaneggiati ad uso ambientale A, (1,0 = profondità e C1 = n° campione)

Scala 1:150

Profondità metri	Spess. metri	SIMBOLO	DESCRIZIONE LITOLOGICA	% Carot 25 50 75	Camp. S=Shelby O=Osterberg M=Mazier	Tubo Dow-hole	H <sub>2</sub> O	SPT A= punta aperta C=punta chiusa	Nspt
1	0,6		Sabbia limosa bruna - terreno vegetale.		0,3 C1A				
2			Limo sabbioso a tratti debolmente argilloso con presenza di piccoli marne scagliettate e qualche clasto arenaceo di media consistenza.						
3			Limo sabbioso a tratti debolmente argilloso con presenza di piccoli marne scagliettate e qualche clasto arenaceo di media consistenza.						
4	3,6		Limo debolmente argilloso e sabbioso di colore giallastro con sfumature verdastre, consistente.		4,0 C1 S				
5			Limo debolmente argilloso e sabbioso di colore giallastro con sfumature verdastre, consistente.		4,5				
6	6,2		Limo debolmente argilloso e sabbioso di colore giallastro con sfumature verdastre, consistente.						
7	7,0		Limo argilloso scaglioso di colore giallastro avana compatto.					A Mt 5,5 (28-32-37)	69
8	8,0		Limo argilloso sabbioso giallastro con sfumature grigiastre compatto.						
9			Limo argilloso di colore grigio compatto con livelli sabbiosi limosi ed inclusi clasti centimetrici calcarenitici a luoghi anche abbondanti.						
10			Limo argilloso di colore grigio compatto con livelli sabbiosi limosi ed inclusi clasti centimetrici calcarenitici a luoghi anche abbondanti.		9,5 C2 S				
11			Limo argilloso di colore grigio compatto con livelli sabbiosi limosi ed inclusi clasti centimetrici calcarenitici a luoghi anche abbondanti.		10,0				
12			Limo argilloso di colore grigio compatto con livelli sabbiosi limosi ed inclusi clasti centimetrici calcarenitici a luoghi anche abbondanti.						
13			Limo argilloso di colore grigio compatto con livelli sabbiosi limosi ed inclusi clasti centimetrici calcarenitici a luoghi anche abbondanti.						
14			Limo argilloso di colore grigio compatto con livelli sabbiosi limosi ed inclusi clasti centimetrici calcarenitici a luoghi anche abbondanti.						
15	15,5		Limo argilloso di colore grigio compatto con livelli sabbiosi limosi ed inclusi clasti centimetrici calcarenitici a luoghi anche abbondanti.		15,0 C3 M				
16	16,5		Livelli di calcareniti ed arenarie grigie fratturate in matrice limo argilloso compatte.		15,5				
17			Livelli di calcareniti ed arenarie grigie fratturate in matrice limo argilloso compatte.						
18			Livelli di calcareniti ed arenarie grigie fratturate in matrice limo argilloso compatte.						
19			Livelli di calcareniti ed arenarie grigie fratturate in matrice limo argilloso compatte.						
20			Limo argilloso di colore grigio compatto con livelli sabbiosi limosi ed inclusi clasti centimetrici calcarenitici a luoghi anche abbondanti.		18,2 C2 A				
21			Limo argilloso di colore grigio compatto con livelli sabbiosi limosi ed inclusi clasti centimetrici calcarenitici a luoghi anche abbondanti.						
22			Limo argilloso di colore grigio compatto con livelli sabbiosi limosi ed inclusi clasti centimetrici calcarenitici a luoghi anche abbondanti.						
23			Limo argilloso di colore grigio compatto con livelli sabbiosi limosi ed inclusi clasti centimetrici calcarenitici a luoghi anche abbondanti.						
24	24,2		Limo argilloso di colore grigio compatto con livelli sabbiosi limosi ed inclusi clasti centimetrici calcarenitici a luoghi anche abbondanti.						
25	24,6		Livello calcareo biancastro fratturato in spessori centimetrici.						
26			Livello calcareo biancastro fratturato in spessori centimetrici.		25,0 C4 M				
27			Livello calcareo biancastro fratturato in spessori centimetrici.		25,5				
28			Limo argilloso di colore grigio compatto con rari livelli sabbiosi limosi ed inclusi rar clasti centimetrici calcarenitici, verso il basso diventa limo argilloso con assenza di clasti.						
29			Limo argilloso di colore grigio compatto con rari livelli sabbiosi limosi ed inclusi rar clasti centimetrici calcarenitici, verso il basso diventa limo argilloso con assenza di clasti.						
30	30,0	Fine Foro						C Mt 28,0 (41-Rifiuto)	Rif
31									
32									
33									



Accettazione n°1942

del 20 giugno 2023

Rapporti di prova n°794 e n° anno 2023



**RICHIEDENTE:**  
**Dott. Geol. Nazario DI LELLA**

**COMMITTENTE:**  
**IVPC SRL**

**PROGETTO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO IN  
PROVINCIA DI BENEVENTO DA 146,40 MW SU 24  
AEROGENERATORI**

Coord. UTM Long. 493889 Lat 4575964 F 01 p.IIa 17  
**MOL 02 - Comune di MOLINARA (BN)**

## INDAGINI IN SITO

### PROVE ESEGUITE

- Sondaggio geognostico MOL 02 a mt 30,0 rapp. di prova 794/23
- Prova sismica in foro del tipo Down-hole DH3 **rapp di prova xxxx/23**

### STRALCIO CON UBICAZIONE DELLE PROVE



### DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA

#### CAROTAGGIO CONTINUO

Tutte le indagini eseguite sono state effettuate a carotaggio continuo con il prelievo della carota disposta in apposite cassette catalogatrici. Il carotaggio è stato eseguito a secco, nei terreni più sciolti e con circolazione di fluido in quelli di natura litoide. L'espulsione della carota è stata effettuata o con spinta idraulica (acqua) o in caso di materiale litoide tramite martellamento del carotiere, il tutto raccolto in contenitore adatto e riposto, secondo la profondità, nelle apposite cassette. La strumentazione utilizzata per le indagini è la seguente: Sonda perforatrice a rotazione di marca Trivel MAc modello TM10FM, anno di produzione 2014, peso circa 10000 kg, coppia massima di rotazione 1000 kgm, velocità di rotazione massima 450 g/min; corsa di 3300 mm, Aste lunghezza 1500 mm diametro 76 mm spessore 6,6 mm, Carotiere di tipo semplice diametro 101 lunghezza 3000 mm e corona con denti in widia, Pompa fanghi del tipo a vite con pressione massima di esercizio di 30 bar

#### PRELIEVO DEI CAMPIONI INDISTURBATI

Raggiunta la profondità desiderata con la perforazione si è proceduti alla manovra di pulizia del foro mediante lavaggio con acqua pulita tale da rimuovere dal fondo del foro eventuale fango e detriti lasciati dalla manovra precedente. Il prelievo dei campioni è stato eseguito, a seconda del grado di consistenza del terreno, con un campionatore a pressione di tipo shelby con fustella a pareti sottili, nei terreni meno consistenti e con un campionatore rotativo denominato "Drill" nei terreni consistenti, litoidi e semilitoidi. Tale campionatore, che viene usato con circolazione di fluido, è costituito da una parte esterna con corona sottile al widia che esegue il taglio del terreno e da una fustella interna in acciaio collegata tramite una testa libera che permette alla fustella di inserirsi nel terreno senza ruotare. Il campione indisturbato, prelevato nella fustella, è stato regolarmente paraffinato e contrassegnato con i dati relativi al sondaggio, alla profondità e alla data di prelievo.

#### STANDARD PENETRATION TEST

La prova SPT si esegue durante la perforazione. Consiste nel registrare il numero di colpi necessari per far penetrare di 45 cm nel terreno a fondo foro un tubo campionatore di dimensioni standard, collegato alla superficie mediante batteria di aste in testa sulle quali agisce un maglio del peso di 63,5 kg che cade liberamente da un'altezza di 0,75 m.

Durante la prova si misura :

N 1= numero di colpi di maglio necessari a provocare l'avanzamento del campionatore per i primi 15 cm

N 2= numero di colpi che provoca la penetrazione del campionatore nei successivi 15 cm;

N 3= numero di colpi necessari per gli ultimi 15 cm di avanzamento.

Si assume come resistenza alla penetrazione il valore:  $NSPT = N2 + N3$

Si utilizzano le seguenti attrezzature standard:

Aste d'infissione del diametro esterno 50 mm e peso di 7 kg/m; Testa di battuta di acciaio avvitata sulle aste; Maglio di acciaio di 63,5 kg; Dispositivo automatico che consente la caduta del maglio da un'altezza di 0,76 m; Centratore di guida per le aste fra la testa di battuta e il piano campagna; Campionatore standard (detto Raymond dalla società che lo ha introdotto per prima). Si tratta di un tubo carotiere avente diametro esterno di 51 mm, spessore 16 mm e lunghezza complessiva comprendente scarpa e raccordo alle aste di 813 mm. Nei terreni ghiaiosi la scarpa del carotiere viene sostituita da una punta conica di diametro 51 mm e angolo 60°. Il campionatore Raymond consta di un tubo diviso longitudinalmente a metà, i due semitubi sono tenuti insieme, durante l'infissione, da una scarpa tagliente avvitata alla base e da un anello in testa. Alla fine della prova si svita la scarpa, il carotiere si apre in due permettendo di estrarre il campione

**Profondità:** 30,00 mt **Cassette:** n°6 **Quota p.c. data esecuzione:** da 27/6/2023 al 27/6/2023 **Attrezzatura:** Trivel Mac TM10  
**Tipo carotaggio:** continuo Ø 101 mm **Tipo carotiere:** semplice **Rivestimento:** Ø 127 mm a mt 3,0 **Operatore:** Giuseppe Giglio

**Condizionamento foro e note:**

Foro condizionato con tubo in pvc per prova down-hole in foro

1,0 C1 A Campioni rimaneggiati ad uso ambientale A, (1,0 = profondità e C1 = n° campione)

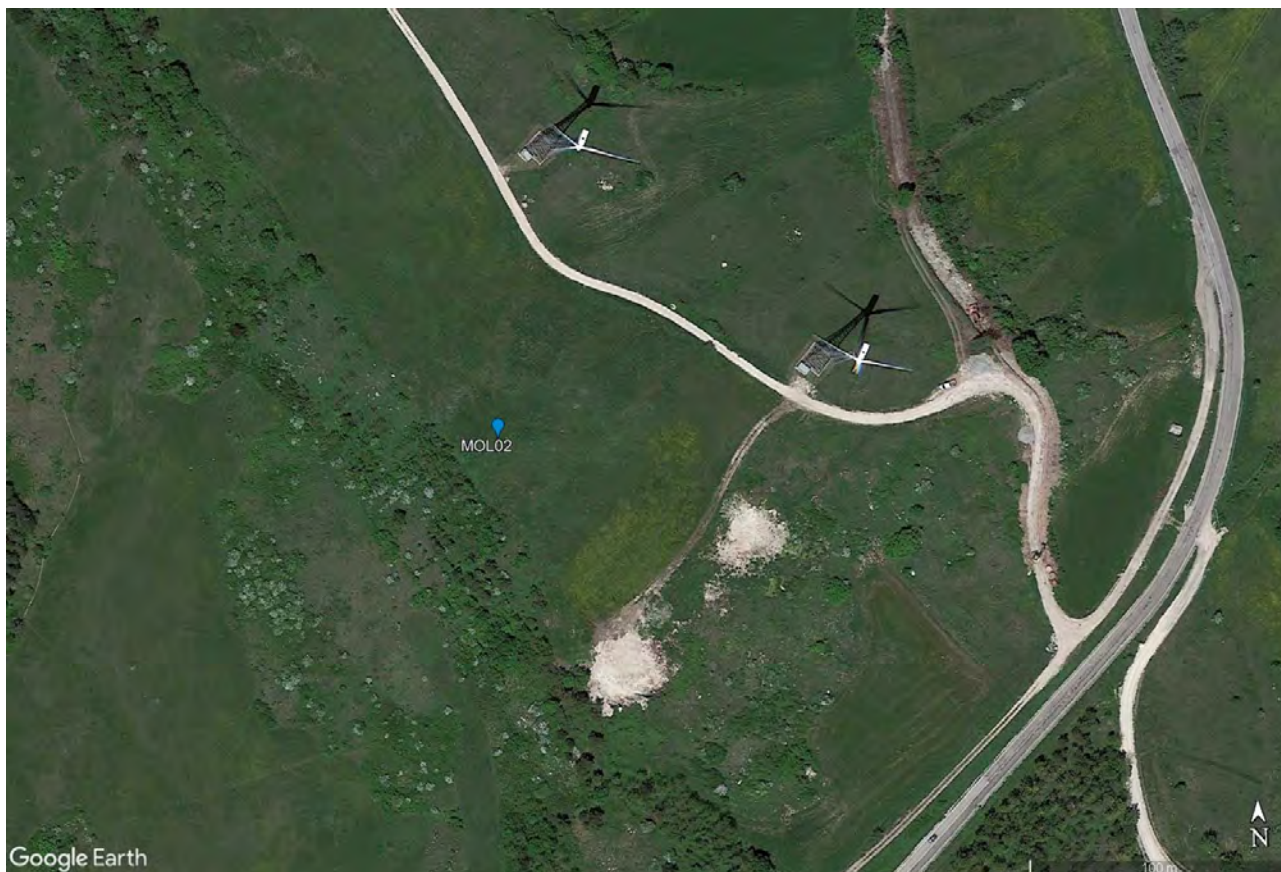
Scala 1:150

Profondità metri	Spess. metri	SIMBOLO	DESCRIZIONE LITOLOGICA	% Carot			Camp. <small>S=shelby O=Osterberg M=Mazier</small>	Tubo Dow-hole	H <sub>2</sub> O	SPT <small>A= punta aperta C=punta chiusa</small>	Nspt
				25	50	75					
1											
2											
3			Calcarei grigio biancastri in strati, fratturati con livelli decimetrici intervallati da livelli intensamente fratturati centimetrici, alternato limo argilloso rossastro asportato in fase di perforazione. RQD 30+35%								
4	4,2					3,0					
5	4,2					C1 Roccia					
6			Limo argilloso marnoso di colore rossastro alternato a livelli litoidi, anche decimetrici, di calcarei di colore rosa-biancastri.			3,5					
7						6,0					
8	7,3		Calcarei grigio biancastri in strati, fratturati con livelli decimetrici intervallati da livelli intensamente fratturati centimetrici, alternato limo argilloso rossastro asportato in fase di perforazione. RQD ~35%			C2					
9	9,0					S					
10	9,7		Limo argilloso marnoso di colore rossastro alternato compatto.			6,5					
11											
12			Calcarei grigio biancastri in strati, fratturati con livelli decimetrici intervallati da livelli intensamente fratturati centimetrici, alternato limo argilloso rossastro asportato in fase di perforazione. RQD 30+35%								
13											
14											
15	15,2										
16											
17											
18			Alternanza di livelli decimetrici di limo argilloso rossastro con livelli litoidi calcarei di spessore da alcuni cm a decimetrici. Abbondante è la frazione litoidi inclusa nella matrice limosa argillosa sabbiosa, rappresentata da clasti a spigoli vivi ed eterometrica.								
19											
20	20,0										
21	5,2		Calcarei grigio biancastri in strati, fratturati con livelli decimetrici intervallati da livelli intensamente fratturati centimetrici, alternato limo argilloso rossastro asportato in fase di perforazione. Tra 20 e 21 metri RQD 55%.								
22											
23	23,0										
24	3,0		Limo argilloso marnoso di colore rossastro con inclusi clasti alternato compatto.								
25	23,6		Calcarei e calcari in livelli di 10-20 cm di spessore intervallati da sabbia ed arenaria grigiastra variabile grado di cementazione, probabile circolazione idrica. RQD ~30%. Possibile circolazione idrica.								
26	1,4										
27	25,0		Limo argilloso di colore rossastro con abbondante frazione litoidi rappresentata da clasti a spigoli vivi ed eterometrica.								
28	1,0										
29			Limo sabbioso argilloso di colore rossastro con inclusioni e/o livelli grigiastri, talvolta struttura scaglioso, mediamente compatto. Presenza di livelletti litoidi clarei biancastri intensamente fratturati (sabbia e ghiaia a circa 29,5 metri).								
30	30,0										
31		Fine Foro									
32											
33											



## INDAGINE SISMICA DOWN-HOLE DH2

### Ubicazione



### Normativa di riferimento

I disastrosi terremoti che negli ultimi anni hanno interessato l'Italia hanno determinato una riclassificazione sismica del territorio nazionale e una rivisitazione della normativa sismica che regola le costruzioni ricadenti in zone sismiche. Le Nuove Norme Tecniche sulle Costruzioni (NTC 17 gennaio 2018<sup>1</sup>), la normativa tecnica europea (Eurocodici EC7<sup>2</sup> e EC8<sup>3</sup>) e le più avanzate normative internazionali<sup>4</sup> disciplinano la progettazione e la costruzione di nuovi edifici soggetti ad azioni sismiche e la valutazione della sicurezza e degli interventi di adeguamento su edifici soggetti al medesimo tipo di azioni. Tali norme hanno lo scopo di assicurare che in caso di evento sismico sia protetta la vita umana, siano limitati i danni e rimangano funzionanti le strutture essenziali agli interventi di protezione civile. Fra le novità più importanti della nuova normativa tecnica in materia di progettazione antisismica vi è l'estensione della zonazione sismica a tutto il territorio nazionale.

La necessità di investigare il sottosuolo ha indirizzato i ricercatori a studiare tecniche non invasive, e quindi economiche, veloci e pratiche, per effettuare caratterizzazioni sismostratigrafiche del sottosuolo. Per ottemperare a quanto prescritto dalla normativa vigente è necessario determinare le azioni sismiche previste su nuove costruzioni, ampliamenti e ristrutturazioni importanti che ricadono in zona sismica, attraverso la determinazione della  $V_{s,eq}$  in m/s (velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio). A tale parametro vengono attribuiti intervalli di variazione a cui corrispondono differenti categorie di sottosuolo (§ 3.2.2 NTC 2018). Il parametro  $V_{s,eq}$  è calcolato mediante la seguente espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}} \quad [m/s]$$

<sup>1</sup> Decreto del Ministero delle Infrastrutture 17 gennaio 2018, pubblicato sul supplemento ordinario n. 42 del 20 febbraio 2018

<sup>2</sup> CEN 1994, Geotechnical Design, General Rules, European Committee for Standardisation (CEN), Eurocode 7 Part 1.

<sup>3</sup> CEN 2003, Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, Final Draft, prEN 1998-1, Brussels;

<sup>4</sup> CEN 2004, Design of structures for earthquake resistance - Part 3: Assessment and retrofitting for buildings, Draft No 7, prEN 1998-3, Brussels.

<sup>5</sup> Applied Technology Council, 1996, Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Volume 1, California;

ACI 318, Building Code Requirements for Reinforced Concrete and Commentary, American Concrete Institute, Michigan, 2000;

Standards New Zealand, The design of concrete structures, NZS 3101, Wellington, 1995;

Canada Standards, The design of concrete structures, CSA-A23.3-04, Canada, 2005.





INDAGINI GEOGNOSTICHE - GEOTECNICA - SISMICA

GEO-TECNICA SRL – Zona Industriale Ponte Valentino  
82100 Benevento [www.geo-tecnica.it](http://www.geo-tecnica.it) e-mail: [informazioni@geo-tecnica.it](mailto:informazioni@geo-tecnica.it)

**Accettazione n° 1943 del 20.06.2023**

**Richiedente:** Dott. Geol. Nazario Di Lella

**Committente:** IVPC srl

**Progetto:** progetto di rifacimento di un parco eolico in provincia di Benevento pari a 146,40MW su 24 aerogeneratori

**Località:** F.1 p.la 17 -Comune di Molinara (BN)

**Data esecuzione:** 25.07.2023

**Rapporto di prova:** n° 920 del 28.07.2023

dove:

$V_{s,i}$ : velocità delle onde di taglio nell' i-esimo strato

$h_i$ : spessore in metri dello strato i-esimo

N: numero di strati

H: profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione. Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  è definita dal parametro  $V_{s,30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

La determinazione della  $V_{s,eq}$  avviene attraverso specifiche indagini geofisiche che si basano sulla propagazione delle onde sismiche nel sottosuolo.

In generale, le indagini sismiche si dividono in attive e passive. Le prime consistono nella generazione di onde sismiche che si propagano nel sottosuolo in seguito ad una energizzazione, che avviene tramite massa battente o scoppio, in un punto sorgente. Le onde generate vengono successivamente registrate da geofoni, rilevatori del moto del suolo, disposti lungo una linea sismica. Le indagini sismiche passive, invece, sono caratterizzate dalla registrazione del rumore sismico generato da sorgenti naturali e/o artificiali (rumore antropico).

#### **Indagine sismica con tecnica "Down-Hole"**

L'indagine sismica in foro di tipo down-hole viene effettuata mediante l'utilizzo di una sorgente energizzante in superficie ed una sonda di ricezione in configurazione triassiale calata in foro. La sonda di ricezione triassiale è costituita da tre geofoni (uno verticale e due orizzontali posti ortogonalmente tra di loro). Uno specifico sistema di tipo meccanico permette alla sonda di ancorarsi alle pareti del foro alle profondità stabilite. Il geofono verticale registra l'arrivo delle onde P, mentre i due geofoni orizzontali registrano l'arrivo delle onde S. Nella tecnica down-hole un sismografo registra il treno d'onda generato dalla sorgente ed arrivato al ricevitore calato in foro; ne risulta un sismogramma nel quale si possono individuare i tempi di arrivo delle onde dirette (onde P) e di taglio (onde S), a seconda di come viene direzionata l'energizzazione e del ricevitore utilizzato. Dal risultante tempo di arrivo delle onde sismiche tramite il percorso diretto tra sorgente e ricevitore si può risalire alle velocità sismiche P ed S per quanto riguarda il terreno indagato, sino alla profondità raggiunta dalla sonda triassiale ( $\text{Velocità sismica [m/s]} = \text{distanza sorgente-ricevitore [m]} / \text{tempo di percorrenza [millisecondi]}$ ). La sorgente energizzante è costituita da una massa battente di 8 kg. Per la generazione delle onde P viene effettuata un'energizzazione verticale su piastra mentre per la generazione delle onde S l'energizzazione è orizzontale su un lato o entrambi i lati di una traversina di legno posta sotto le ruote di un automezzo, il cui peso ha il compito di rendere la stessa più solidale col terreno in modo da trasmettere al meglio le onde di taglio generate.

#### **Strumentazione utilizzata per tecnica Down-Hole**

L'indagine è stata condotta mediante l'utilizzo del sismografo GEA24 della PASI srl (via Galliani 5/E TORINO, con canali a 24 bit (con PC esterno) adatto a RIFRAZIONE, RIFLESSIONE SUPERFICIALE, ONDE DI SUPERFICIE (MASW, Re.Mi.,  $V_{s,eq}$ , MAAM, ESAC, ecc.) HVSR/ VIBRAZIONI, DOWNHOLE, CROSSHOLE, utilizzando un Geofono da foro 3D "GFA-50"

I segnali sismici acquisiti sono stati successivamente elaborati con un apposito programma INTERSISM della GeoSoft dell'ing. Giorgio Scioldo, per la determinazione della sismostratigrafia del sottosuolo.

Il direttore del laboratorio

Dott. Geol. Umberto Lonardo



INDAGINI GEOGNOSTICHE - GEOTECNICA - SISMICA

GEO-TECNICA SRL – Zona Industriale Ponte Valentino  
82100 Benevento www.geo-tecnica.it e-mail: informazioni@geo-tecnica.it

**Accettazione n° 1943 del 20.06.2023**

**Richiedente:** Dott. Geol. Nazario Di Lella

**Committente:** IVPC srl

**Progetto:** progetto di rifacimento di un parco eolico in provincia di Benevento pari a 146,40MW su 24 aerogeneratori

**Località:** F.1 p.lla 17 -Comune di Molinara (BN)

**Data esecuzione:** 25.07.2023

**Rapporto di prova:** n° 920 del 28.07.2023

## **Premessa**

Il sottoscritto dott. geol. Giuseppe Pasquale, iscritto all'Ordine dei Geologi della Regione Campania al n. 2319, veniva incaricato dalla GEO-TECNICA srl con sede alla Z.I. Ponte Valentino-Benevento di eseguire la caratterizzazione sismica nel Comune di Molinara (BN), Località F.1 p.la 17, per i lavori relativi a "progetto di rifacimento di un parco eolico in provincia di Benevento pari a 146,40MW su 24 aerogeneratori". La ditta committente è rappresentata dall' IVPC srl.

Obiettivo della presente relazione geofisica è quello di definire, all'interno del sondaggio geognostico MOL 02, secondo quanto previsto dalla normativa vigente in materia il parametro  $V_{s,eq}$  attraverso la stima delle velocità dei terreni con l'esecuzione di n. 1 prova sismica di tipo DOWN-HOLE mediante la caratterizzazione dinamica del sottosuolo con l'individuazione delle principali unità sismostratigrafiche e delle relative proprietà elastiche.

Di seguito vengono riportati i risultati delle elaborazioni dell'indagine eseguita.

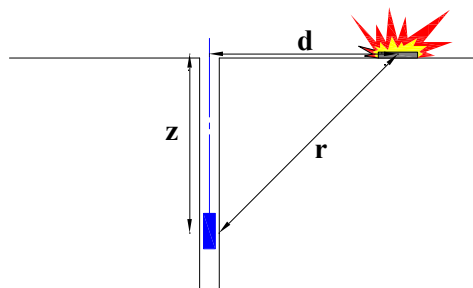
Prova sismica in foro tipo DOWN-HOLE DH2: rapporto di prova n. 920 del 28.07.2023

## Acquisizione ed elaborazione dei dati DH2

La prova sismica DH è stata eseguita all'interno del sondaggio geognostico MOL 02 opportunamente condizionato e per la registrazione delle onde sismiche è stato utilizzato un geofono tridimensionale da foro (o sonda geofonica). L'ancoraggio della sonda alla parete della tubazione (PVC  $\varnothing$  80 mm) è stato garantito da un pistone pneumatico azionato da un dispositivo ad aria compressa.

Per garantire la generazione degli impulsi P ed S è stata utilizzata, come fonte di energizzazione, una massa battente di 8 kg, e per ciascun punto di misura sono state effettuate 2 battute, una verticale e una orizzontale.

Nel caso in esame, la sorgente è stata posizionata ad una distanza di 1,15 m dal boccaforo (Tabella 1), per questo motivo nella fase di elaborazione dei dati è stata effettuata la correzione dei tempi. Se  $d$  è la distanza della sorgente dall'asse del foro (Figura 1),  $r$  la distanza fra la sorgente e il ricevitore,  $z$  la profondità di misura è possibile ottenere i tempi corretti ( $t_{corr}$ ) mediante la seguente formula di conversione:



$$t_{corr} = \frac{z}{r} t$$

Figura 1. Schema down-hole

Tabella 1: Geometria di acquisizione

Distanza da boccaforo (m)	1,15
Profondità raggiunta (m)	30,0
Intervallo di misura (m)	1,0

Attraverso uno specifico software per l'elaborazione dei dati sismici in foro (INTERSISM) le tracce sismiche relative alle onde P ed S di ogni sismogramma sono state separate e raggruppate in seguito in tre files distinti (uno per le onde P e due per onde S) contenenti tutte le tracce P o S alle diverse profondità. Dei due sismogrammi S è stato scelto quello col dato migliore, ovvero quello che al momento dell'acquisizione in foro era

orientato nella posizione più favorevole. Successivamente si è proceduto alla lettura dei tempi di arrivo.

Nella Tabella 2 vengono riportati i tempi corretti.

N° Geof.	Profondità [m]	Onde P [ms]	Onde S (X) [ms]	Onde P (corretti) [ms]	Onde S (X) (corretti) [ms]
1	1.00	2.80	11.50	1.98	8.13
2	2.00	3.58	18.00	3.21	16.10
3	3.00	4.50	23.50	4.27	22.29
4	4.00	5.28	27.00	5.12	26.19
5	5.00	5.80	28.50	5.69	27.95
6	6.00	6.78	33.50	6.68	33.04
7	7.00	6.91	35.84	6.84	35.48
8	8.00	7.69	39.08	7.63	38.78
9	9.00	8.67	40.91	8.61	40.66
10	10.00	9.06	43.13	9.01	42.92
11	11.00	9.64	45.77	9.60	45.58
12	12.00	9.90	46.78	9.87	46.62
13	13.00	10.16	50.83	10.13	50.68
14	14.00	10.95	51.84	10.92	51.71
15	15.00	11.19	54.48	11.16	54.35
16	16.00	11.61	56.30	11.59	56.19
17	17.00	11.92	58.32	11.90	58.22
18	18.00	12.71	60.75	12.69	60.66
19	19.00	13.16	60.96	13.14	60.87
20	20.00	13.62	62.78	13.60	62.70
21	21.00	14.33	64.20	14.32	64.12
22	22.00	14.73	65.61	14.71	65.55
23	23.00	15.18	66.83	15.17	66.77
24	24.00	15.18	68.25	15.17	68.19
25	25.00	15.64	70.47	15.63	70.42
26	26.00	16.04	70.88	16.03	70.83
27	27.00	16.35	72.30	16.34	72.25
28	28.00	16.42	74.73	16.41	74.68
29	29.00	17.00	75.33	16.99	75.29
30	30.00	17.40	76.75	17.39	76.71

Tabella 2: tempi corretti secondo lo schema riportato in Figura 1

Calcolati i tempi corretti per le onde P ed S, è stato realizzato il grafico tempo/profondità ed individuati i tratti a velocità omogenea (dromocrone) (Figura 2). La velocità media delle onde sismiche, relativa a strati omogenei di terreno, è rappresentata dalla pendenza dei segmenti di retta che meglio interpolano i punti sperimentali. In Figura 2 vengono riportate le dromocrone e i relativi sismostrati individuati.



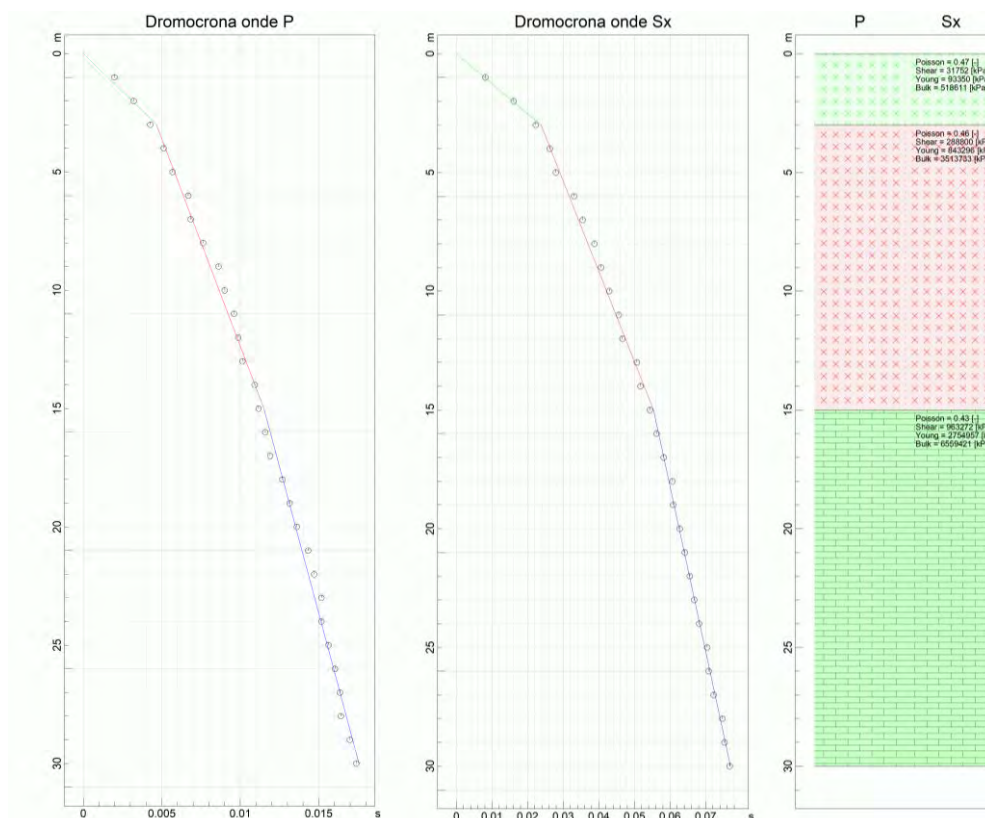


Figura 2: Dromocrone delle onde P ed S e relativi sismostrati

Nelle seguenti tabelle vengono riportati i parametri sismici ed elastici relativi agli strati individuati.

VELOCITA' ONDE P

Strato	Profondità [m]	Velocità [m/s]
1	3	644
2	15	1752
3	30	2476

PARAMETRI ONDE SX

Strato	Profondità [m]	Velocità [m/s]	Poisson [-]	Shear [kPa]	Young [kPa]	Bulk [kPa]
1	3	126	0.47	31752.0	93350.0	518611
2	15	380	0.46	288800	843296	3513734
3	30	694	0.43	963272	2754957.0	6559422

Ai sensi del DM 17 gennaio 2018, si riporta il valore della  $V_{s,eq}$  (con  $H=30m$ ) riferito all'attuale piano campagna.

Prof. (m)	$V_{s,eq}$ (m/s)
0-30	390

## Conclusioni

L'indagine sismica (DOWN-HOLE) ha consentito di determinare il profilo verticale della Vs e, di conseguenza, del parametro Vs,eq come riportato nelle precedenti tabelle.

In riferimento alla Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni si riportano le categorie di sottosuolo di riferimento distinte in funzione del parametro Vs,eq\* (Tabella 3).

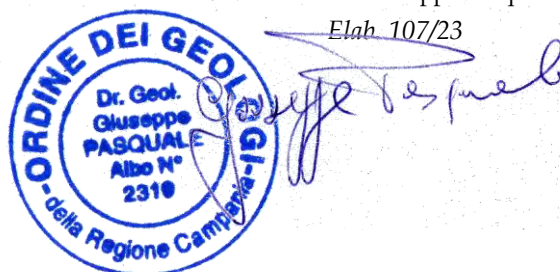
**Tabella 3: Categorie di sottosuolo (Tabella 3.2.II NTC 2018)**

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Il direttore del laboratorio  
Dott. Geol. Umberto Lonardo

Lo sperimentatore incaricato  
Dott. Geol. Giuseppe Pasquale

Elab. 107/23



\* La classificazione del terreno è di pertinenza dell'utente che ne deve valutare la tipologia sulla base della normativa vigente (NTC 2018) tenendo conto della locale successione stratigrafica. Si ricorda che per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio Vs,eq è definita dal parametro Vs,30, ottenuto ponendo H=30 m nella espressione [3.2.1] del § 3.2.2 NTC 2018 e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.





Accettazione n°1940

del 20 giugno 2023

Rapporto di prova n°791 e n° anno 2023



**RICHIEDENTE:**  
**Dott. Geol. Nazario DI LELLA**

**COMMITTENTE:**  
**IVPC SRL**

**PROGETTO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO IN  
PROVINCIA DI BENEVENTO DA 146,40 MW SU 24  
AEROGENERATORI**

Coord. UTM Long. 493503 Lat 4575787 F 03 p.lle 112,113,114 e 450  
**MOL 03 - Comune di MOLINARA (BN)**

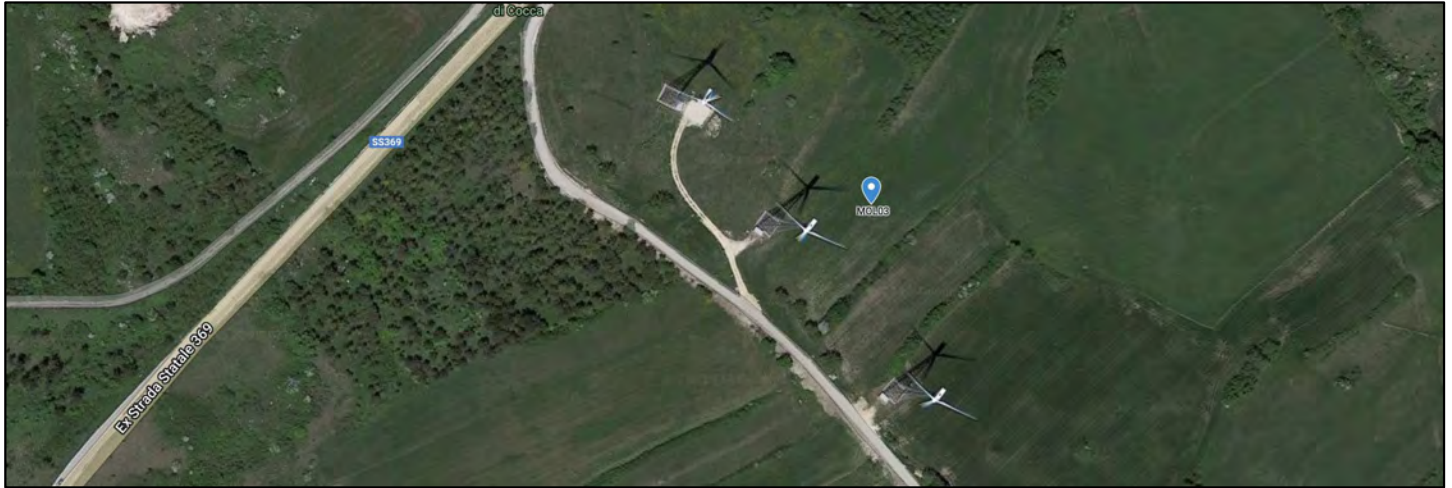


## INDAGINI IN SITO

### PROVE ESEGUITE

- Sondaggio geognostico MOL 03 a mt 30,0 rapp. di prova 791/23
- Prova sismica in foro del tipo Down-hole DH3 **rapp di prova xxxx/23**

### STRALCIO CON UBICAZIONE DELLE PROVE



### DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA

#### CAROTAGGIO CONTINUO

Tutte le indagini eseguite sono state effettuate a carotaggio continuo con il prelievo della carota disposta in apposite cassette catalogatrici. Il carotaggio è stato eseguito a secco, nei terreni più sciolti e con circolazione di fluido in quelli di natura litoide. L'espulsione della carota è stata effettuata o con spinta idraulica (acqua) o in caso di materiale litoide tramite martellamento del carotiere, il tutto raccolto in contenitore adatto e riposto, secondo la profondità, nelle apposite cassette. La strumentazione utilizzata per le indagini è la seguente: Sonda perforatrice a rotazione di marca Trivel MAC modello TM10FM, anno di produzione 2014, peso circa 10000 kg, coppia massima di rotazione 1000 kgm, velocità di rotazione massima 450 g/min; corsa di 3300 mm, Aste lunghezza 1500 mm diametro 76 mm spessore 6,6 mm, Carotiere di tipo semplice diametro 101 lunghezza 3000 mm e corona con denti in widia, Pompa fanghi del tipo a vite con pressione massima di esercizio di 30 bar

#### PRELIEVO DEI CAMPIONI INDISTURBATI

Raggiunta la profondità desiderata con la perforazione si è proceduti alla manovra di pulizia del foro mediante lavaggio con acqua pulita tale da rimuovere dal fondo del foro eventuale fango e detriti lasciati dalla manovra precedente. Il prelievo dei campioni è stato eseguito, a seconda del grado di consistenza del terreno, con un campionatore a pressione di tipo shelby con fustella a pareti sottili, nei terreni meno consistenti e con un campionatore rotativo denominato "Drill" nei terreni consistenti, litoidi e semilitoidi. Tale campionatore, che viene usato con circolazione di fluido, è costituito da una parte esterna con corona sottile al widia che esegue il taglio del terreno e da una fustella interna in acciaio collegata tramite una testa libera che permette alla fustella di inserirsi nel terreno senza ruotare. Il campione indisturbato, prelevato nella fustella, è stato regolarmente paraffinato e contrassegnato con i dati relativi al sondaggio, alla profondità e alla data di prelievo.

#### STANDARD PENETRATION TEST

La prova SPT si esegue durante la perforazione. Consiste nel registrare il numero di colpi necessari per far penetrare di 45 cm nel terreno a fondo foro un tubo campionatore di dimensioni standard, collegato alla superficie mediante batteria di aste in testa sulle quali agisce un maglio del peso di 63,5 kg che cade liberamente da un'altezza di 0,75 m.

Durante la prova si misura:

N 1= numero di colpi di maglio necessari a provocare l'avanzamento del campionatore per i primi 15 cm

N 2= numero di colpi che provoca la penetrazione del campionatore nei successivi 15 cm;

N 3= numero di colpi necessari per gli ultimi 15 cm di avanzamento.

Si assume come resistenza alla penetrazione il valore:  $NSPT = N2 + N3$

Si utilizzano le seguenti attrezzature standard:

Aste d'infissione del diametro esterno 50 mm e peso di 7 kg/m; Testa di battuta di acciaio avvitata sulle aste; Maglio di acciaio di 63,5 kg; Dispositivo automatico che consente la caduta del maglio da un'altezza di 0,76 m; Centratore di guida per le aste fra la testa di battuta e il piano campagna; Campionatore standard (detto Raymond dalla società che lo ha introdotto per prima). Si tratta di un tubo carotiere avente diametro esterno di 51 mm, spessore 16 mm e lunghezza complessiva comprendente scarpa e raccordo alle aste di 813 mm. Nei terreni ghiaiosi la scarpa del carotiere viene sostituita da una punta conica di diametro 51 mm e angolo 60°. Il campionatore Raymond consta di un tubo diviso longitudinalmente a metà, i due semitubi sono tenuti insieme, durante l'infissione, da una scarpa tagliente avvitata alla base e da un anello in testa. Alla fine della prova si svita la scarpa, il carotiere si apre in due permettendo di estrarre il campione


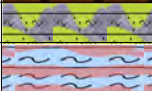



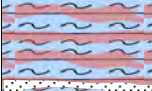
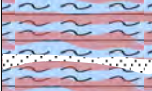



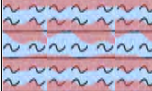
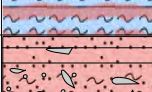
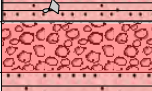
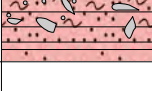


**Profondità:** 30,00 mt **Cassette:** n°6 **Quota p.c. data esecuzione:** da 22/6/2023 al 22/6/2023 **Attrezzatura:** Trivel Mac TM10  
**Tipo carotaggio:** continuo Ø 101 mm **Tipo carotiere:** semplice **Rivestimento:** Ø 127 mm a mt 3,0 **Operatore:** Giuseppe Giglio

**Condizionamento foro e note:**

Foro condizionato con tubo in pvc per prova down-hole in foro

1,0 C1 A Campioni rimaneggiati ad uso ambientale A, (1,0 = profondità e C1 = n° campione)

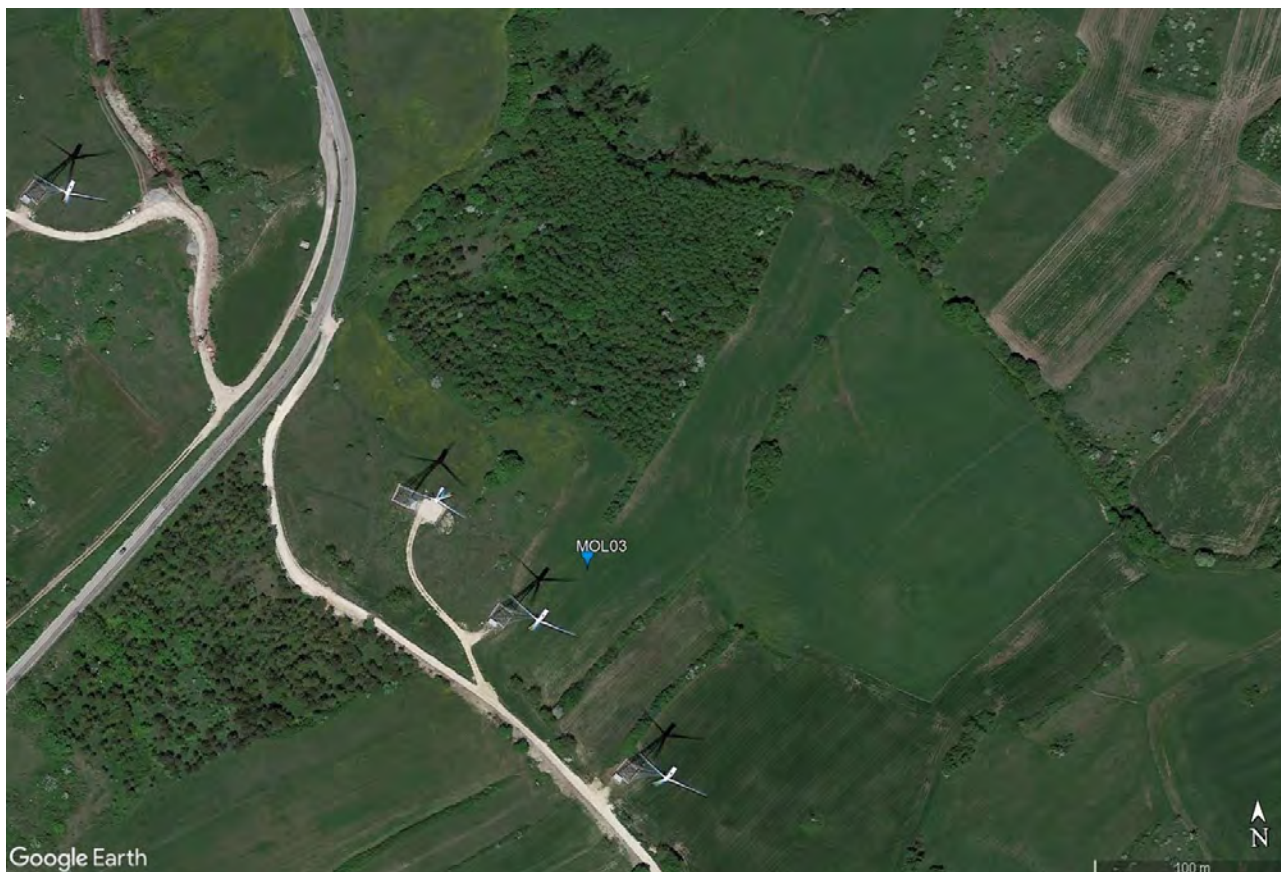
Scala 1:150

Profondità metri	Spess. metri	SIMBOLO	DESCRIZIONE LITOLOGICA	% Carot			Camp. S=shelby O=Osterberg M=Mazier	Tubo Dow-hole	H <sub>2</sub> O	SPT A= punta aperta C=punta chiusa	Nspt
				25	50	75					
1			Limo argilloso bruno pedogenizzato ed alterato plastico, terreno vegetale.				A				
2	2,1	2,1					1,9 C1A				
3	2,9	0,8	Limo sabbioso giallo-verdastro con presenza di scaglie marnose e sfumature rossastre e rari clasti marnosi pseudolitoidi.								
4											
5											
6							5,0 C1 S				
7							5,5				
8									A Mt 8,0 (16-20-20)	40	
9			Limo debolmente argilloso e sabbioso a bande alternate rossastre e grigiastre, prevalentemente rossastre dopo i 4,2 metri. La struttura è compatta con rari livelli e/o noduli debolmente sabbiosi giallastri. All'interno è rara la presenza di clasti calcarei e calcarenitici centimetrici sparsi nell'ammasso.								
10							10,5 C2 S				
11							11,0				
12									A Mt 12,5 (22-39-34)	73	
13											
14							14,6 C2A				
15							15,5 C3 S				
16							16,0				
17											
18											
19											
20	20,0	17,1									
21	21,0	1,0	Limo deb. argilloso rossastro alternato a verdastro con abbondanti clasti litoidi a spigoli vivi anche di dimensioni decimetriche dopo i 20,5 metri.						A Mt 20,5 (Rifiuto)	Rif	
22											
23			Limo debolmente argilloso e sabbioso a bande alternate rossastre e grigiastre, prevalentemente rossastre dopo i 4,2 metri. compatto								
24											
25	25,0	4,0					24,0 C3 S				
26							24,5				
27	27,0	2,0	Limo argilloso sabbioso ghiaioso di colore rossastro-rosa con sfumature verdastre a tratti marnoso, leggermente umido.								
28	28,0	3,5	Calcarei da intensamente fratturati (in clasti di 4-6 cm) a fratturati con livello da 20 cm in matrice argillosa limosa rossastra						C Mt 27,0 (Fifiuto)	Rif	
29											
30	30,0	Fine Foro	Limo argilloso sabbioso ghiaioso di colore rossastro-rosa con sfumature verdastre a tratti marnoso, leggermente umido.				29,9 C3 A				
31											
32											
33											



## INDAGINE SISMICA DOWN-HOLE DH3

### Ubicazione



### Normativa di riferimento

I disastrosi terremoti che negli ultimi anni hanno interessato l'Italia hanno determinato una riclassificazione sismica del territorio nazionale e una rivisitazione della normativa sismica che regola le costruzioni ricadenti in zone sismiche. Le Nuove Norme Tecniche sulle Costruzioni (NTC 17 gennaio 2018<sup>1</sup>), la normativa tecnica europea (Eurocodici EC7<sup>2</sup> e EC8<sup>3</sup>) e le più avanzate normative internazionali<sup>4</sup> disciplinano la progettazione e la costruzione di nuovi edifici soggetti ad azioni sismiche e la valutazione della sicurezza e degli interventi di adeguamento su edifici soggetti al medesimo tipo di azioni. Tali norme hanno lo scopo di assicurare che in caso di evento sismico sia protetta la vita umana, siano limitati i danni e rimangano funzionanti le strutture essenziali agli interventi di protezione civile. Fra le novità più importanti della nuova normativa tecnica in materia di progettazione antisismica vi è l'estensione della zonazione sismica a tutto il territorio nazionale.

La necessità di investigare il sottosuolo ha indirizzato i ricercatori a studiare tecniche non invasive, e quindi economiche, veloci e pratiche, per effettuare caratterizzazioni sismostratigrafiche del sottosuolo. Per ottemperare a quanto prescritto dalla normativa vigente è necessario determinare le azioni sismiche previste su nuove costruzioni, ampliamenti e ristrutturazioni importanti che ricadono in zona sismica, attraverso la determinazione della  $V_{s,eq}$  in m/s (velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio). A tale parametro vengono attribuiti intervalli di variazione a cui corrispondono differenti categorie di sottosuolo (§ 3.2.2 NTC 2018). Il parametro  $V_{s,eq}$  è calcolato mediante la seguente espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}} [m/s]$$

<sup>1</sup> Decreto del Ministero delle Infrastrutture 17 gennaio 2018, pubblicato sul supplemento ordinario n. 42 del 20 febbraio 2018

<sup>2</sup> CEN 1994, Geotechnical Design, General Rules, European Committee for Standardisation (CEN), Eurocode 7 Part 1.

<sup>3</sup> CEN 2003, Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, Final Draft, prEN 1998-1, Brussels;

<sup>4</sup> CEN 2004, Design of structures for earthquake resistance – Part 3: Assessment and retrofitting for buildings, Draft No 7, prEN 1998-3, Brussels.

<sup>5</sup> Applied Technology Council, 1996, Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Volume 1, California;

ACI 318, Building Code Requirements for Reinforced Concrete and Commentary, American Concrete Institute, Michigan, 2000;

Standards New Zealand, The design of concrete structures, NZS 3101, Wellington, 1995;

Canada Standards, The design of concrete structures, CSA-A23.3-04, Canada, 2005.



GEO-TECNICA SRL – Zona Industriale Ponte Valentino  
82100 Benevento [www.geo-tecnica.it](http://www.geo-tecnica.it) e-mail: [informazioni@geo-tecnica.it](mailto:informazioni@geo-tecnica.it)

**Accettazione n° 1940 del 20.06.2023**

**Richiedente:** Dott. Geol. Nazario Di Lella

**Committente:** IVPC srl

**Progetto:** progetto di rifacimento di un parco eolico in provincia di Benevento pari a 146,40MW su 24 aerogeneratori

**Località:** F.3 p.lle 112, 113, 114, 450 -Comune di Molinara (BN)

**Data esecuzione:** 25.07.2023

**Rapporto di prova:** n° 918 del 28.07.2023

dove:

$V_{s,i}$ : velocità delle onde di taglio nell' i-esimo strato

$h_i$ : spessore in metri dello strato i-esimo

N: numero di strati

H: profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione. Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  è definita dal parametro  $V_{s,30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

La determinazione della  $V_{s,eq}$  avviene attraverso specifiche indagini geofisiche che si basano sulla propagazione delle onde sismiche nel sottosuolo.

In generale, le indagini sismiche si dividono in attive e passive. Le prime consistono nella generazione di onde sismiche che si propagano nel sottosuolo in seguito ad una energizzazione, che avviene tramite massa battente o scoppio, in un punto sorgente. Le onde generate vengono successivamente registrate da geofoni, rilevatori del moto del suolo, disposti lungo una linea sismica. Le indagini sismiche passive, invece, sono caratterizzate dalla registrazione del rumore sismico generato da sorgenti naturali e/o artificiali (rumore antropico).

#### **Indagine sismica con tecnica "Down-Hole"**

L'indagine sismica in foro di tipo down-hole viene effettuata mediante l'utilizzo di una sorgente energizzante in superficie ed una sonda di ricezione in configurazione triassiale calata in foro. La sonda di ricezione triassiale è costituita da tre geofoni (uno verticale e due orizzontali posti ortogonalmente tra di loro). Uno specifico sistema di tipo meccanico permette alla sonda di ancorarsi alle pareti del foro alle profondità stabilite. Il geofono verticale registra l'arrivo delle onde P, mentre i due geofoni orizzontali registrano l'arrivo delle onde S. Nella tecnica down-hole un sismografo registra il treno d'onda generato dalla sorgente ed arrivato al ricevitore calato in foro; ne risulta un sismogramma nel quale si possono individuare i tempi di arrivo delle onde dirette (onde P) e di taglio (onde S), a seconda di come viene direzionata l'energizzazione e del ricevitore utilizzato. Dal risultante tempo di arrivo delle onde sismiche tramite il percorso diretto tra sorgente e ricevitore si può risalire alle velocità sismiche P ed S per quanto riguarda il terreno indagato, sino alla profondità raggiunta dalla sonda triassiale ( $\text{Velocità sismica [m/s]} = \text{distanza sorgente-ricevitore [m]} / \text{tempo di percorrenza [millisecondi]}$ ). La sorgente energizzante è costituita da una massa battente di 8 kg. Per la generazione delle onde P viene effettuata un'energizzazione verticale su piastra mentre per la generazione delle onde S l'energizzazione è orizzontale su un lato o entrambi i lati di una traversina di legno posta sotto le ruote di un automezzo, il cui peso ha il compito di rendere la stessa più solidale col terreno in modo da trasmettere al meglio le onde di taglio generate.

#### **Strumentazione utilizzata per tecnica Down-Hole**

L'indagine è stata condotta mediante l'utilizzo del sismografo GEA24 della PASI srl (via Galliari 5/E TORINO, con canali a 24 bit (con PC esterno) adatto a RIFRAZIONE, RIFLESSIONE SUPERFICIALE, ONDE DI SUPERFICIE (MASW, Re.Mi.,  $V_{s,eq}$ , MAAM, ESAC, ecc.) HVSR/VIBRAZIONI, DOWNHOLE, CROSSHOLE, utilizzando un Geofono da foro 3D "GFA-50"

I segnali sismici acquisiti sono stati successivamente elaborati con un apposito programma INTERSISM della GeoSoft dell'ing. Giorgio Scioldo, per la determinazione della sismostratigrafia del sottosuolo.

Il direttore del laboratorio

Dott. Geol. Umberto Lonardo





INDAGINI GEOGNOSTICHE - GEOTECNICA - SISMICA

GEO-TECNICA SRL – Zona Industriale Ponte Valentino  
82100 Benevento www.geo-tecnica.it e-mail: informazioni@geo-tecnica.it

**Accettazione n° 1940 del 20.06.2023**

**Richiedente:** Dott. Geol. Nazario Di Lella

**Committente:** IVPC srl

**Progetto:** progetto di rifacimento di un parco eolico in provincia di Benevento pari a 146,40MW su 24 aerogeneratori

**Località** F.3 p.lle 112, 113, 114, 450 -Comune di Molinara (BN)

**Data esecuzione:** 25.07.2023

**Rapporto di prova:** n° 918 del 28.07.2023

## **Premessa**

Il sottoscritto dott. geol. Giuseppe Pasquale, iscritto all'Ordine dei Geologi della Regione Campania al n. 2319, veniva incaricato dalla GEO-TECNICA srl con sede alla Z.I. Ponte Valentino-Benevento di eseguire la caratterizzazione sismica nel Comune di Molinara (BN), Località F.3 p.lle 112, 113, 114, 450, per i lavori relativi a "progetto di rifacimento di un parco eolico in provincia di Benevento pari a 146,40MW su 24 aerogeneratori". La ditta committente è rappresentata dall' IVPC srl.

Obiettivo della presente relazione geofisica è quello di definire, all'interno del sondaggio geognostico MOL 03, secondo quanto previsto dalla normativa vigente in materia il parametro  $V_{s,eq}$  attraverso la stima delle velocità dei terreni con l'esecuzione di n. 1 prova sismica di tipo DOWN-HOLE mediante la caratterizzazione dinamica del sottosuolo con l'individuazione delle principali unità sismostratigrafiche e delle relative proprietà elastiche.

Di seguito vengono riportati i risultati delle elaborazioni dell'indagine eseguita.

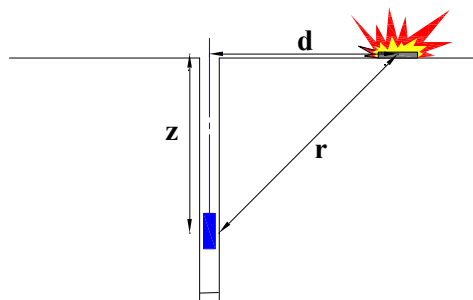
Prova sismica in foro tipo DOWN-HOLE DH3: rapporto di prova n. 918 del 28.07.2023

### Acquisizione ed elaborazione dei dati DH3

La prova sismica DH è stata eseguita all'interno del sondaggio geognostico MOL 03 opportunamente condizionato e per la registrazione delle onde sismiche è stato utilizzato un geofono tridimensionale da foro (o sonda geofonica). L'ancoraggio della sonda alla parete della tubazione (PVC  $\varnothing$  80 mm) è stato garantito da un pistone pneumatico azionato da un dispositivo ad aria compressa.

Per garantire la generazione degli impulsi P ed S è stata utilizzata, come fonte di energizzazione, una massa battente di 8 kg, e per ciascun punto di misura sono state effettuate 2 battute, una verticale e una orizzontale.

Nel caso in esame, la sorgente è stata posizionata ad una distanza di 1,10 m dal boccaforo (Tabella 1), per questo motivo nella fase di elaborazione dei dati è stata effettuata la correzione dei tempi. Se  $d$  è la distanza della sorgente dall'asse del foro (Figura 1),  $r$  la distanza fra la sorgente e il ricevitore,  $z$  la profondità di misura è possibile ottenere i tempi corretti ( $t_{corr}$ ) mediante la seguente formula di conversione:



$$t_{corr} = \frac{z}{r} t$$

Figura 1. Schema down-hole

Tabella 1: Geometria di acquisizione

Distanza da boccaforo (m)	1,10
Profondità raggiunta (m)	30,0
Intervallo di misura (m)	1,0

Attraverso uno specifico software per l'elaborazione dei dati sismici in foro (INTERSISM) le tracce sismiche relative alle onde P ed S di ogni sismogramma sono state separate e raggruppate in seguito in tre files distinti (uno per le onde P e due per onde S) contenenti tutte le tracce P o S alle diverse profondità. Dei due sismogrammi S è stato scelto quello col dato migliore, ovvero quello che al momento dell'acquisizione in foro era

orientato nella posizione più favorevole. Successivamente si è proceduto alla lettura dei tempi di arrivo.

Nella Tabella 2 vengono riportati i tempi corretti.

N° Geof.	Profondità [m]	Onde P [ms]	Onde S (X) [ms]	Onde P (corretti) [ms]	Onde S (X) (corretti) [ms]
1	1.00	4.72	10.50	3.34	7.42
2	2.00	7.00	13.00	6.26	11.63
3	3.00	7.50	15.00	7.12	14.23
4	4.00	8.50	18.00	8.25	17.46
5	5.00	10.15	20.50	9.95	20.10
6	6.00	11.25	23.50	11.10	23.18
7	7.00	11.95	25.50	11.83	25.24
8	8.00	12.96	27.50	12.86	27.29
9	9.00	14.00	30.50	13.91	30.31
10	10.00	14.77	33.08	14.69	32.92
11	11.00	15.87	35.84	15.81	35.69
12	12.00	16.68	38.59	16.62	38.46
13	13.00	17.78	42.01	17.73	41.88
14	14.00	18.28	45.16	18.24	45.04
15	15.00	19.89	48.05	19.85	47.94
16	16.00	21.00	50.41	20.96	50.31
17	17.00	22.10	51.85	22.06	51.76
18	18.00	23.01	53.43	22.97	53.35
19	19.00	23.31	56.58	23.27	56.50
20	20.00	23.81	58.81	23.78	58.74
21	21.00	24.41	61.04	24.38	60.97
22	22.00	25.32	62.22	25.29	62.16
23	23.00	26.32	64.59	26.30	64.53
24	24.00	26.62	67.83	26.60	67.77
25	25.00	27.83	69.30	27.81	69.25
26	26.00	28.53	70.95	28.51	70.90
27	27.00	28.93	73.07	28.91	73.02
28	28.00	30.14	74.80	30.12	74.75
29	29.00	30.54	76.88	30.52	76.84
30	30.00	31.65	78.39	31.63	78.35

**Tabella 2: tempi corretti secondo lo schema riportato in Figura 1**

Calcolati i tempi corretti per le onde P ed S, è stato realizzato il grafico tempo/profondità ed individuati i tratti a velocità omogenea (dromocrone) (Figura 2). La velocità media delle onde sismiche, relativa a strati omogenei di terreno, è rappresentata dalla pendenza dei segmenti di retta che meglio interpolano i punti sperimentali. In Figura 2 vengono riportate le dromocrone e i relativi sismostrati individuati.

Accettazione n°1941

del 20 giugno 2023



**RICHIEDENTE:**  
**Dott. Geol. Nazario DI LELLA**

**COMMITTENTE:**  
**IVPC SRL**

**PROGETTO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO IN  
PROVINCIA DI BENEVENTO DA 146,40 MW SU 24  
AEROGENERATORI**

Coord. UTM Long. 493686 Lat 4575365 F 03 p.lle 137,138 e 460  
**MOL 04 - Comune di MOLINARA (BN)**



## INDAGINI IN SITO

### PROVE ESEGUITE

- Sondaggio geognostico MOL 04 a mt 30,0 rapp. di prova 791/23
- Prova sismica in foro del tipo Down-hole DH3 **rapp di prova xxxx/23**

### STRALCIO CON UBICAZIONE DELLE PROVE



### DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA

#### CAROTAGGIO CONTINUO

Tutte le indagini eseguite sono state effettuate a carotaggio continuo con il prelievo della carota disposta in apposite cassette catalogatrici. Il carotaggio è stato eseguito a secco, nei terreni più sciolti e con circolazione di fluido in quelli di natura litoide. L'espulsione della carota è stata effettuata o con spinta idraulica (acqua) o in caso di materiale litoide tramite martellamento del carotiere, il tutto raccolto in contenitore adatto e riposto, secondo la profondità, nelle apposite cassette. La strumentazione utilizzata per le indagini è la seguente: Sonda perforatrice a rotazione di marca Trivel MAc modello TM10FM, anno di produzione 2014, peso circa 10000 kg, coppia massima di rotazione 1000 kgm, velocità di rotazione massima 450 g/min; corsa di 3300 mm, Aste lunghezza 1500 mm diametro 76 mm spessore 6,6 mm, Carotiere di tipo semplice diametro 101 lunghezza 3000 mm e corona con denti in widia, Pompa fanghi del tipo a vite con pressione massima di esercizio di 30 bar

#### PRELIEVO DEI CAMPIONI INDISTURBATI

Raggiunta la profondità desiderata con la perforazione si è proceduti alla manovra di pulizia del foro mediante lavaggio con acqua pulita tale da rimuovere dal fondo del foro eventuale fango e detriti lasciati dalla manovra precedente. Il prelievo dei campioni è stato eseguito, a seconda del grado di consistenza del terreno, con un campionatore a pressione di tipo shelby con fustella a pareti sottili, nei terreni meno consistenti e con un campionatore rotativo denominato "Drill" nei terreni consistenti, litoidi e semilitoidi. Tale campionatore, che viene usato con circolazione di fluido, è costituito da una parte esterna con corona sottile al widia che esegue il taglio del terreno e da una fustella interna in acciaio collegata tramite una testa libera che permette alla fustella di inserirsi nel terreno senza ruotare. Il campione indisturbato, prelevato nella fustella, è stato regolarmente paraffinato e contrassegnato con i dati relativi al sondaggio, alla profondità e alla data di prelievo.

#### STANDARD PENETRATION TEST

La prova SPT si esegue durante la perforazione. Consiste nel registrare il numero di colpi necessari per far penetrare di 45 cm nel terreno a fondo foro un tubo campionatore di dimensioni standard, collegato alla superficie mediante batteria di aste in testa sulle quali agisce un maglio del peso di 63,5 kg che cade liberamente da un'altezza di 0,75 m.

Durante la prova si misura :

N 1= numero di colpi di maglio necessari a provocare l'avanzamento del campionatore per i primi 15 cm

N 2= numero di colpi che provoca la penetrazione del campionatore nei successivi 15 cm;

N 3= numero di colpi necessari per gli ultimi 15 cm di avanzamento.

Si assume come resistenza alla penetrazione il valore:  $NSPT = N2 + N3$

Si utilizzano le seguenti attrezzature standard:

Aste d'infissione del diametro esterno 50 mm e peso di 7 kg/m; Testa di battuta di acciaio avvitata sulle aste; Maglio di acciaio di 63,5 kg; Dispositivo automatico che consente la caduta del maglio da un'altezza di 0,76 m; Centratore di guida per le aste fra la testa di battuta e il piano campagna; Campionatore standard (detto Raymond dalla società che lo ha introdotto per prima). Si tratta di un tubo carotiere avente diametro esterno di 51 mm, spessore 16 mm e lunghezza complessiva comprendente scarpa e raccordo alle aste di 813 mm. Nei terreni ghiaiosi la scarpa del carotiere viene sostituita da una punta conica di diametro 51 mm e angolo 60°. Il campionatore Raymond consta di un tubo diviso longitudinalmente a metà, i due semitubi sono tenuti insieme, durante l'infissione, da una scarpa tagliente avvitata alla base e da un anello in testa. Alla fine della prova si svita la scarpa, il carotiere si apre in due permettendo di estrarre il campione

**Profondità:** 30,00 mt **Cassette:** n°6 **Quota p.c. data esecuzione:** da 23/6/2023 al 23/6/2023 **Attrezzatura:** Trivel Mac TM10  
**Tipo carotaggio:** continuo Ø 101 mm **Tipo carotiere:** semplice **Rivestimento:** Ø 127 mm a mt 3,0 **Operatore:** Giuseppe Giglio

**Condizionamento foro e note:**

Foro condizionato con tubo in pvc per prova down-hole in foro

1,0 C1 A Campioni rimaneggiati ad uso ambientale A, (1,0 = profondità e C1 = n° campione)

Scala 1:150

Profondità metri	Spess. metri	SIMBOLO	DESCRIZIONE LITOLOGICA	% Carot			Camp. <small>S=shelby O=Osterberg M=Mazier</small>	Tubo Dow-hole	H <sub>2</sub> O	SPT <small>A= punta aperta C=punta chiusa</small>	Nspt
				25	50	75					
1	1,1		Limo argilloso bruno pedogenizzato ed alterato plastico, terreno vegetale.								
2			Limo argilloso di colore rossastro, variegato giallastro a tratti poco consistente e plastico. Si presenta scaglioso ed in parte sfaldato.								
3	2,7		Calcarei e calcareniti fittamente fratturate in blocchi centimetrici e decimetrici.								
4	3,4		Limo argilloso rossastro leggermente consistente.								
	4,2										
5	5,0		Limo debolmente argilloso di colore verdastro mediamente consistente.								
6											
7											
8											
9			Limo debolmente argilloso di colore rossastro abbastanza consistente. Presenza di sfumature e livelli grigiastri a tratti debolmente sabbiosi e raramente sfumature giallastre. Nella parte rossastra si individuano livelli a tratti fittamente scagliettati argilloso-marnosi. Rara è la presenza di qualche incluso litoide centimetrico.								
10											
11											
12											
13	13,0		Calcarei e calcari fratturati a blocchi decimetrici RQD~30%, alternati alimo sabbioso-argilloso grigiastro.								
14	14,5										
15			Limo argilloso sabbioso grigiastro ghiaioso, i clasti risultano abbondanti e sono costituiti da calcari e calcareniti a spigoli vivi prevalentemente di colore grigiastro con dimensioni anche di 7-8 cm.								
16	16,1										
17											
18											
19											
20											
21											
22											
23			Limo debolmente argilloso a luoghi sabbioso di colore prevalentemente grigiastro-azzurro con sfumature rossastre e grigio-verde. La struttura talvolta risulta scagliettata con marni -argillose e sono presenti inclusi litoidi centimetrici calcarenitici a spigoli vivi. Materiali nel complesso compatto.								
24											
25											
26											
27											
28											
29											
30	30,0	Fine Foro									
31											
32											
33											

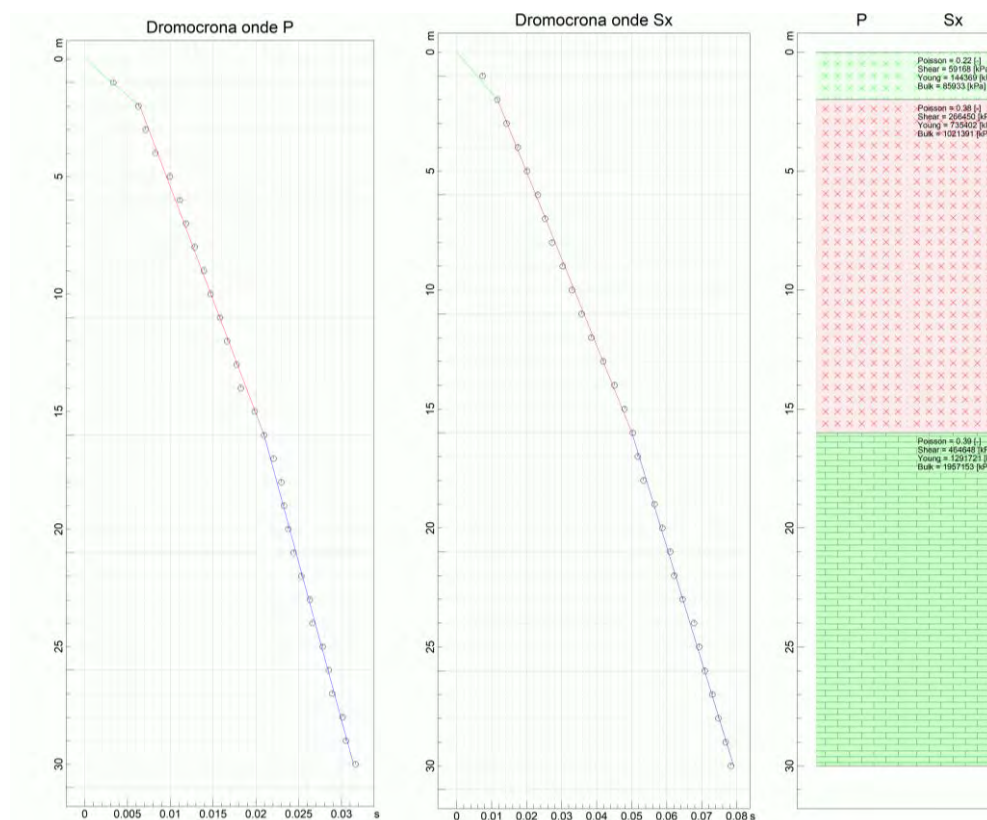


Figura 2: Dromocrona delle onde P ed S e relativi sismostrati

Nelle seguenti tabelle vengono riportati i parametri sismici ed elastici relativi agli strati individuati.

VELOCITA' ONDE P

Strato	Profondità [m]	Velocità [m/s]
1	2	311
2	16	964
3	30	1340

PARAMETRI ONDE SX

Strato	Profondità [m]	Velocità [m/s]	Poisson [-]	Shear [kPa]	Young [kPa]	Bulk [kPa]
1	2	172	0.22	59168.0	144369	85933.0
2	16	365	0.38	266450	735401	1021390.0
3	30	482	0.39	464648	1291721	1957152.0

Ai sensi del DM 17 gennaio 2018, si riporta il valore della  $V_{s,eq}$  (con  $H=30m$ ) riferito all'attuale piano campagna.

Prof. (m)	$V_{s,eq}$ (m/s)
0-30	380



## Conclusioni

L'indagine sismica (DOWN-HOLE) ha consentito di determinare il profilo verticale della Vs e, di conseguenza, del parametro Vs,eq come riportato nelle precedenti tabelle.

In riferimento alla Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni si riportano le categorie di sottosuolo di riferimento distinte in funzione del parametro Vs,eq\* (Tabella 3).

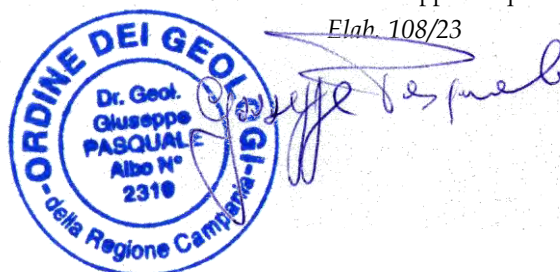
**Tabella 3: Categorie di sottosuolo (Tabella 3.2.II NTC 2018)**

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Il direttore del laboratorio  
Dott. Geol. Umberto Lonardo

Lo sperimentatore incaricato  
Dott. Geol. Giuseppe Pasquale

*Elab. 108/23*



\* La classificazione del terreno è di pertinenza dell'utente che ne deve valutare la tipologia sulla base della normativa vigente (NTC 2018) tenendo conto della locale successione stratigrafica. Si ricorda che per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio Vs,eq è definita dal parametro Vs,30, ottenuto ponendo H=30 m nella espressione [3.2.1] del § 3.2.2 NTC 2018 e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.





Accettazione n°1939

del 20 giugno 2023

Rapporto di prova n°790 e n° anno 2023



**RICHIEDENTE:**  
**Dott. Geol. Nazario DI LELLA**

**COMMITTENTE:**  
**IVPC SRL**

**PROGETTO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO IN  
PROVINCIA DI BENEVENTO DA 146,40 MW SU 24  
AEROGENERATORI**

Coord. UTM Long. 493780 Lat 4574980 F 05 p.IIa 376 e 421  
**MOL 07 - Comune di MOLINARA (BN)**



## INDAGINI IN SITO

### PROVE ESEGUITE

- Sondaggio geognostico MOL 07 a mt 30,0 rapp. di prova 790/23
- Prova sismica in foro del tipo Down-hole DH7 rapp di prova xxxx/23

### STRALCIO CON UBICAZIONE DELLE PROVE



### DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA

#### CAROTAGGIO CONTINUO

Tutte le indagini eseguite sono state effettuate a carotaggio continuo con il prelievo della carota disposta in apposite cassette catalogatrici. Il carotaggio è stato eseguito a secco, nei terreni più sciolti e con circolazione di fluido in quelli di natura litoide. L'espulsione della carota è stata effettuata o con spinta idraulica (acqua) o in caso di materiale litoide tramite martellamento del carotiere, il tutto raccolto in contenitore adatto e riposto, secondo la profondità, nelle apposite cassette. La strumentazione utilizzata per le indagini è la seguente: Sonda perforatrice a rotazione di marca Trivel MAc modello TM10FM, anno di produzione 2014, peso circa 10000 kg, coppia massima di rotazione 1000 kgm, velocità di rotazione massima 450 g/min; corsa di 3300 mm, Aste lunghezza 1500 mm diametro 76 mm spessore 6,6 mm, Carotiere di tipo semplice diametro 101 lunghezza 3000 mm e corona con denti in widia, Pompa fanghi del tipo a vite con pressione massima di esercizio di 30 bar

#### PRELIEVO DEI CAMPIONI INDISTURBATI

Raggiunta la profondità desiderata con la perforazione si è proceduti alla manovra di pulizia del foro mediante lavaggio con acqua pulita tale da rimuovere dal fondo del foro eventuale fango e detriti lasciati dalla manovra precedente. Il prelievo dei campioni è stato eseguito, a seconda del grado di consistenza del terreno, con un campionatore a pressione di tipo shelby con fustella a pareti sottili, nei terreni meno consistenti e con un campionatore rotativo denominato "Drill" nei terreni consistenti, litoidi e semilitoidi. Tale campionatore, che viene usato con circolazione di fluido, è costituito da una parte esterna con corona sottile al widia che esegue il taglio del terreno e da una fustella interna in acciaio collegata tramite una testa libera che permette alla fustella di inserirsi nel terreno senza ruotare. Il campione indisturbato, prelevato nella fustella, è stato regolarmente paraffinato e contrassegnato con i dati relativi al sondaggio, alla profondità e alla data di prelievo.

#### STANDARD PENETRATION TEST

La prova SPT si esegue durante la perforazione. Consiste nel registrare il numero di colpi necessari per far penetrare di 45 cm nel terreno a fondo foro un tubo campionatore di dimensioni standard, collegato alla superficie mediante batteria di aste in testa sulle quali agisce un maglio del peso di 63,5 kg che cade liberamente da un'altezza di 0,75 m.

Durante la prova si misura:

N 1= numero di colpi di maglio necessari a provocare l'avanzamento del campionatore per i primi 15 cm

N 2= numero di colpi che provoca la penetrazione del campionatore nei successivi 15 cm;

N 3= numero di colpi necessari per gli ultimi 15 cm di avanzamento.

Si assume come resistenza alla penetrazione il valore:  $NSPT = N2 + N3$

Si utilizzano le seguenti attrezzature standard:

Aste d'infissione del diametro esterno 50 mm e peso di 7 kg/m; Testa di battuta di acciaio avvitata sulle aste; Maglio di acciaio di 63,5 kg; Dispositivo automatico che consente la caduta del maglio da un'altezza di 0,76 m; Centratore di guida per le aste fra la testa di battuta e il piano campagna; Campionatore standard (detto Raymond dalla società che lo ha introdotto per prima). Si tratta di un tubo carotiere avente diametro esterno di 51 mm, spessore 16 mm e lunghezza complessiva comprendente scarpa e raccordo alle aste di 813 mm. Nei terreni ghiaiosi la scarpa del carotiere viene sostituita da una punta conica di diametro 51 mm e angolo 60°. Il campionatore Raymond consta di un tubo diviso longitudinalmente a metà, i due semitubi sono tenuti insieme, durante l'infissione, da una scarpa tagliente avvitata alla base e da un anello in testa. Alla fine della prova si svita la scarpa, il carotiere si apre in due permettendo di estrarre il campione

**Profondità:** 30,00 mt **Cassette:** n°6 **Quota p.c. data esecuzione:** da 21/6/2023 al 21/6/2023 **Attrezzatura:** Trivel Mac TM10  
**Tipo carotaggio:** continuo Ø 101 mm **Tipo carotiere:** semplice **Rivestimento:** Ø 127 mm a mt 3,0 **Operatore:** Giuseppe Giglio  
**Condizionamento foro e note:**

Foro condizionato con tubo in pvc per prova down-hole in foro

1,0 C1 A Campioni rimaneggiati ad uso ambientale A, (1,0 = profondità e C1 = n° campione)

Scala 1:150

Profondità metri	Spess. metri	SIMBOLO	DESCRIZIONE LITOLOGICA	% Carot 25 50 75	Camp. S=shelby O=Osterberg M=Mazier	Tubo Dow-hole	H <sub>2</sub> O	SPT A= punta aperta C=punta chiusa	Nspt
1			Limo sabbioso debolmente argilloso di colore giallastro fortemente rimaneggiato e compressibile.		1,0 C1 A				
2	1,6								
3			Limo debolmente argilloso a tratti debolmente sabbioso di colore giallo-avana di discreta consistenza con rare sfumature grigiastre.						
4	4,0								
5			Limo argilloso di colore verdastro e grigiastro con deboli sfumature rossastre inclusi clasti minuti, a tratti plastico e umido.						
6	5,4				5,5 C1 S				
7			Limo sabbioso di colore giallo-verdastro mediamente consistente, con livelli prevalentemente sabbiosi ocracei tra 6,2÷6,3 e tra 7,1÷7,2, dove risulta leggermente addensato		6,0				
8	7,2							A Mt 8,0 (15-14-18)	32
9			Limo argilloso di colore verdastro compatto.						
10			Limo debolmente argilloso e sabbioso compatto di colore grigio con inclusi clasti centimetrici calcarenitici ed un livello di 20 centimetri tra 10,0÷10,2.						
11	11,0				10,5 C2 S				
12									
13								A Mt 13,0 (24-32-rif)	Rif
14			Limo debolmente argilloso di colore rossastro con bande grigiastre più o meno frequenti, nella parte rossastra in alcuni casi si rinviene una struttura fittamente scagliettata debolmente marnosa. Presenti livelli di sabbia fine grigiastra a 1 2,5 3 14,5 metri dove è probabile una debole circolazione idrica.						
15					15,0 C3 S				
16					15,5				
17					15,5 C2 A				
18									
19	18,5		Calcarenite grigiastra compatta						
20	18,7								
21			Limo debolmente argilloso a bande grigio-verdastre e grigio azzurre e rare sfumature rossastre inclusi rari clasti calcarei centimetrici biancastri.					A Mt 20,0 (33-Rif)	Rif
22	21,5		Arenaria grigiastra a variabile grado di cementazione						
23	22,0		Limo argilloso grigio a tratti marnoso includente clasti calcarenitici centimetrici.						
24			Arenaria grigiastra in spessori decimetrici (3 blocchetti) e in clasti centimetrici in matrice sabbioso-limosa, probabile circolazione idrica						
25	22,8								
26	24,5				24,0 C3 S				
27			Limo argilloso rossastro compatto con clasti calcarei più o meno abbondanti.		24,5				
28								C Mt 27,5 (43-Rif)	Rif
29	28,0		Limo argilloso rossastro con abbondanti clasti da minuti a centimetrici a spigoli vivi calcarei e marnosi, parte fine persa in perforazione.						
30	29,0		Limo argilloso rossastro compatto con clasti calcarei più o meno abbondanti.		29,3 C3 A				
31	30,0	Fine Foro							
32									
33									



Accettazione n°1954

del 23 giugno 2023

Rapporto di prova n°832 e n° anno 2023



**RICHIEDENTE:**  
**Dott. Geol. Nazario DI LELLA**

**COMMITTENTE:**  
**IVPC SRL**

**PROGETTO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO IN  
PROVINCIA DI BENEVENTO DA 146,40 MW SU 24  
AEROGENERATORI**

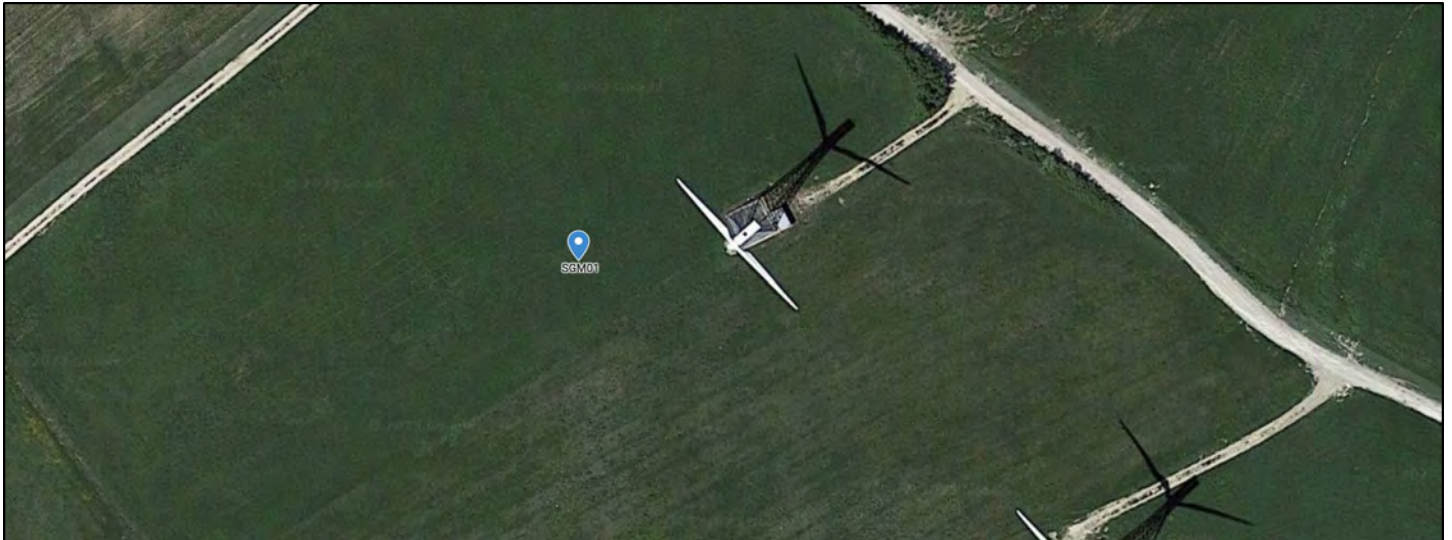
Coord. UTM Long. 496370 Lat 4573960 F 01 p.lle 113 e 206  
SGM 01 - Comune di San Giorgio La Molara (BN)

## INDAGINI IN SITO

### PROVE ESEGUITE

- Sondaggio geognostico SGM 01 a mt 30,0 rapp. di prova 832/23
- Prova sismica in foro del tipo Down-hole DH3 **rapp di prova xxxx/23**

### STRALCIO CON UBICAZIONE DELLE PROVE



### DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA

#### CAROTAGGIO CONTINUO

Tutte le indagini eseguite sono state effettuate a carotaggio continuo con il prelievo della carota disposta in apposite cassette catalogatrici. Il carotaggio è stato eseguito a secco, nei terreni più sciolti e con circolazione di fluido in quelli di natura litoide. L'espulsione della carota è stata effettuata o con spinta idraulica (acqua) o in caso di materiale litoide tramite martellamento del carotiere, il tutto raccolto in contenitore adatto e riposto, secondo la profondità, nelle apposite cassette. La strumentazione utilizzata per le indagini è la seguente: Sonda perforatrice a rotazione di marca Trivel MAc modello TM10FM, anno di produzione 2014, peso circa 10000 kg, coppia massima di rotazione 1000 kgm, velocità di rotazione massima 450 g/min; corsa di 3300 mm, Aste lunghezza 1500 mm diametro 76 mm spessore 6,6 mm, Carotiere di tipo semplice diametro 101 lunghezza 3000 mm e corona con denti in widia, Pompa fanghi del tipo a vite con pressione massima di esercizio di 30 bar

#### PRELIEVO DEI CAMPIONI INDISTURBATI

Raggiunta la profondità desiderata con la perforazione si è proceduti alla manovra di pulizia del foro mediante lavaggio con acqua pulita tale da rimuovere dal fondo del foro eventuale fango e detriti lasciati dalla manovra precedente. Il prelievo dei campioni è stato eseguito, a seconda del grado di consistenza del terreno, con un campionatore a pressione di tipo shelby con fustella a pareti sottili, nei terreni meno consistenti e con un campionatore rotativo denominato "Drill" nei terreni consistenti, litoidi e semilitoidi. Tale campionatore, che viene usato con circolazione di fluido, è costituito da una parte esterna con corona sottile al widia che esegue il taglio del terreno e da una fustella interna in acciaio collegata tramite una testa libera che permette alla fustella di inserirsi nel terreno senza ruotare. Il campione indisturbato, prelevato nella fustella, è stato regolarmente paraffinato e contrassegnato con i dati relativi al sondaggio, alla profondità e alla data di prelievo.

#### STANDARD PENETRATION TEST

La prova SPT si esegue durante la perforazione. Consiste nel registrare il numero di colpi necessari per far penetrare di 45 cm nel terreno a fondo foro un tubo campionatore di dimensioni standard, collegato alla superficie mediante batteria di aste in testa sulle quali agisce un maglio del peso di 63,5 kg che cade liberamente da un'altezza di 0,75 m.

Durante la prova si misura :

N 1= numero di colpi di maglio necessari a provocare l'avanzamento del campionatore per i primi 15 cm

N 2= numero di colpi che provoca la penetrazione del campionatore nei successivi 15 cm;

N 3= numero di colpi necessari per gli ultimi 15 cm di avanzamento.

Si assume come resistenza alla penetrazione il valore:  $NSPT = N2 + N3$

Si utilizzano le seguenti attrezzature standard:

Aste d'infissione del diametro esterno 50 mm e peso di 7 kg/m; Testa di battuta di acciaio avvitata sulle aste; Maglio di acciaio di 63,5 kg; Dispositivo automatico che consente la caduta del maglio da un'altezza di 0,76 m; Centratore di guida per le aste fra la testa di battuta e il piano campagna; Campionatore standard (detto Raymond dalla società che lo ha introdotto per prima). Si tratta di un tubo carotiere avente diametro esterno di 51 mm, spessore 16 mm e lunghezza complessiva comprendente scarpa e raccordo alle aste di 813 mm. Nei terreni ghiaiosi la scarpa del carotiere viene sostituita da una punta conica di diametro 51 mm e angolo 60°. Il campionatore Raymond consta di un tubo diviso longitudinalmente a metà, i due semitubi sono tenuti insieme, durante l'infissione, da una scarpa tagliente avvitata alla base e da un anello in testa. Alla fine della prova si svita la scarpa, il carotiere si apre in due permettendo di estrarre il campione

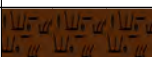



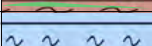
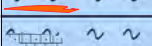
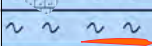
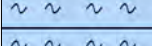
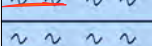
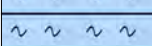
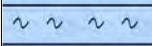
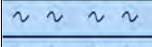
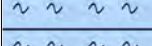
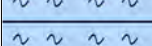
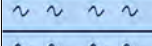
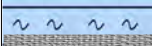


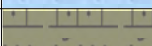
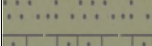
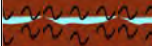
**Profondità:** 30,00 mt **Cassette:** n°6 **Quota p.c. data esecuzione:** da 4/7/2023 al 4/7/2023 **Attrezzatura:** Trivel Mac TM10  
**Tipo carotaggio:** continuo Ø 101 mm **Tipo carotiere:** semplice **Rivestimento:** Ø 127 mm a mt 1,5 **Operatore:** Giuseppe Giglio

**Condizionamento foro e note:**

Foro condizionato con tubo in pvc per prova down-hole in foro

1,0 C1 A Campioni rimaneggiati ad uso ambientale A, (1,0 = profondità e C1 = n° campione)

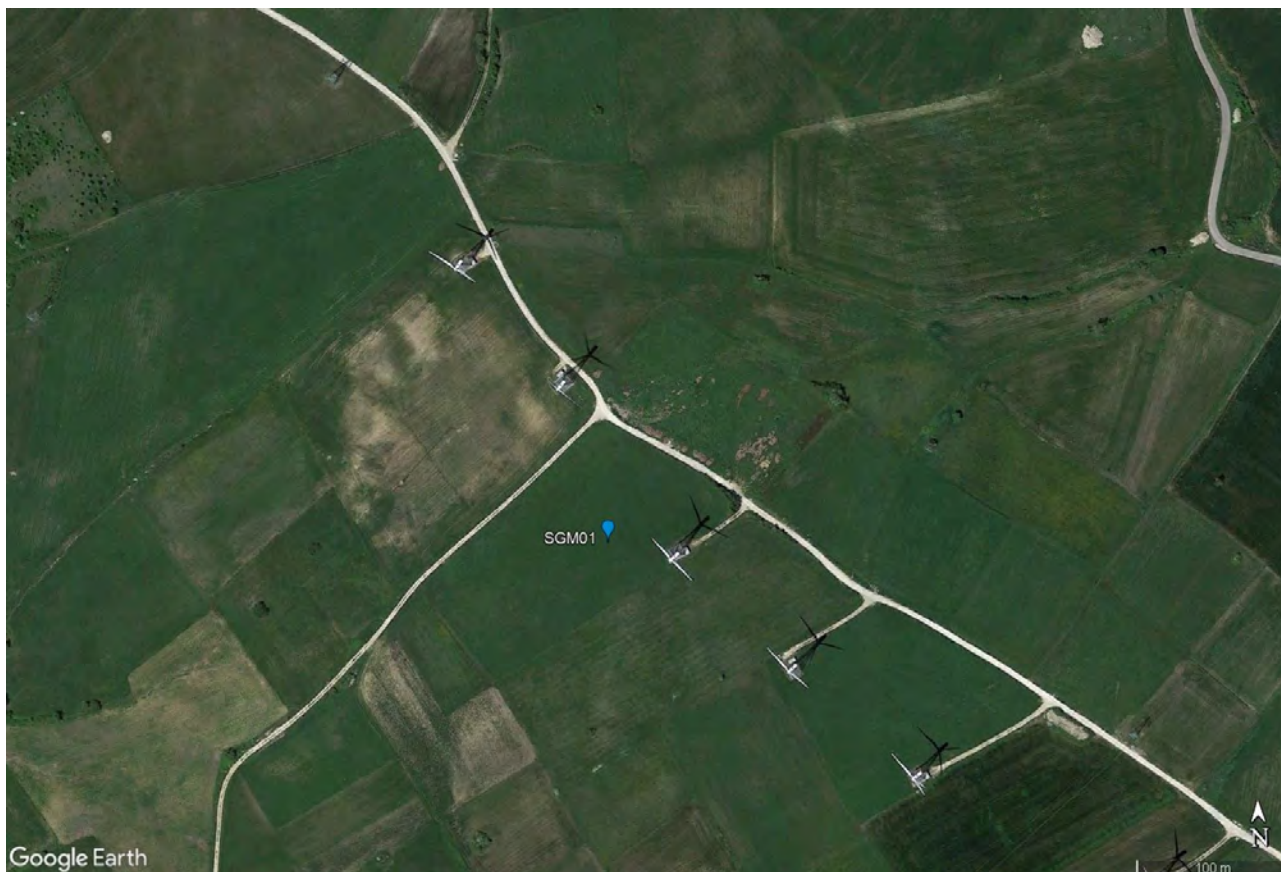
Scala 1:150

Profondità metri	Spess. metri	SIMBOLO	DESCRIZIONE LITOLOGICA	% Carot 25 50 75	Camp. S=shelby O=Osterberg M=Mazier	Tubo Dow-hole	H <sub>2</sub> O	SPT A= punta aperta C=punta chiusa	Nspt
1	1,0		Limo sabbioso passante ad argilloso bruno, in parte sciolto e poi fortemente rimaneggiato, terreno vegetale		0,8 C1A				
2			Limo debolmente argilloso di colore rossastro variegato verdastro con qualche clasto marnoso a 2,3 metri, a tratti si rinvencono livelli argilloso-marnosi di media consistenza.						
3									
4									
5	4,5	1,0				4,0 C1 S			
6			Limo argilloso di colore grigio con rare sfumature rossastre con presenza di qualche nodulo costituito da maglie scagliettate, mediamente consistente		4,5				
7									
8									
9	9,1	4,6							24
10	10,0	0,9	Limo debolmente argilloso di colore grigio con inclusi livelli marnosi con scaglie grossolane a 9,2 e 9,5 metri.		11,0 C2 S				
11			Limo argilloso di colore grigio con rarissime sfumature rossastre con presenza di qualche nodulo costituito da maglie scagliettate, mediamente consistente		11,5				
12									
13									
14	14,0	4,0							34
15	14,2	0,2	Limo debolmente argilloso di colore grigio con inclusi livelli scaglie marnose.		14,8 C2A				
16			Limo argilloso di colore grigio con presenza di qualche nodulo costituito da maglie scagliettate, consistente						
17									
18						17,0 C3 S			
19						17,5			
20			Alternanza di livelli limoso argillosi marnosi con livelli a prevalenza calcarenitica intensamente fratturati che dopo la perforazione risultano costituiti da blocchetti centimetrici marnosi e calcarenitici presenti tra le quote di 20,7+21,2, 21,7+22,1, 23,8+23,9 e 24,4+25,0						
21	20,7	6,5							Rif
22									
23									
24									
25	25,4	4,7			25,3 C4 M				
26			Sabbia ed arenaria litoide giallastra-nerastra con livelli litoidi di spessore 10-15 cm, livello includente materiali bituminosi-idrocarburi.		25,7				
27									
28	28,1	2,7							
29			Limo debolmente argilloso di colore rossastro in subordine fiammate grigiastre. Consistente.		29,6 C3 A				
30	30,0	Fine Foro							
31									
32									
33									



## INDAGINE SISMICA DOWN-HOLE DH1

### Ubicazione



### Normativa di riferimento

I disastrosi terremoti che negli ultimi anni hanno interessato l'Italia hanno determinato una riclassificazione sismica del territorio nazionale e una rivisitazione della normativa sismica che regola le costruzioni ricadenti in zone sismiche. Le Nuove Norme Tecniche sulle Costruzioni (NTC 17 gennaio 2018<sup>1</sup>), la normativa tecnica europea (Eurocodici EC7<sup>2</sup> e EC8<sup>3</sup>) e le più avanzate normative internazionali<sup>4</sup> disciplinano la progettazione e la costruzione di nuovi edifici soggetti ad azioni sismiche e la valutazione della sicurezza e degli interventi di adeguamento su edifici soggetti al medesimo tipo di azioni. Tali norme hanno lo scopo di assicurare che in caso di evento sismico sia protetta la vita umana, siano limitati i danni e rimangano funzionanti le strutture essenziali agli interventi di protezione civile. Fra le novità più importanti della nuova normativa tecnica in materia di progettazione antisismica vi è l'estensione della zonazione sismica a tutto il territorio nazionale.

La necessità di investigare il sottosuolo ha indirizzato i ricercatori a studiare tecniche non invasive, e quindi economiche, veloci e pratiche, per effettuare caratterizzazioni sismostratigrafiche del sottosuolo. Per ottemperare a quanto prescritto dalla normativa vigente è necessario determinare le azioni sismiche previste su nuove costruzioni, ampliamenti e ristrutturazioni importanti che ricadono in zona sismica, attraverso la determinazione della  $V_{s,eq}$  in m/s (velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio). A tale parametro vengono attribuiti intervalli di variazione a cui corrispondono differenti categorie di sottosuolo (§ 3.2.2 NTC 2018). Il parametro  $V_{s,eq}$  è calcolato mediante la seguente espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}} [m/s]$$

<sup>1</sup> Decreto del Ministero delle Infrastrutture 17 gennaio 2018, pubblicato sul supplemento ordinario n. 42 del 20 febbraio 2018

<sup>2</sup> CEN 1994, Geotechnical Design, General Rules, European Committee for Standardisation (CEN), Eurocode 7 Part 1.

<sup>3</sup> CEN 2003, Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, Final Draft, prEN 1998-1, Brussels;

<sup>4</sup> CEN 2004, Design of structures for earthquake resistance - Part 3: Assessment and retrofitting for buildings, Draft No 7, prEN 1998-3, Brussels.

<sup>5</sup> Applied Technology Council, 1996, Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Volume 1, California;

ACI 318, Building Code Requirements for Reinforced Concrete and Commentary, American Concrete Institute, Michigan, 2000;

Standards New Zealand, The design of concrete structures, NZS 3101, Wellington, 1995;

Canada Standards, The design of concrete structures, CSA-A23.3-04, Canada, 2005.





INDAGINI GEOGNOSTICHE - GEOTECNICA - SISMICA

GEO-TECNICA SRL – Zona Industriale Ponte Valentino  
82100 Benevento [www.geo-tecnica.it](http://www.geo-tecnica.it) e-mail: [informazioni@geo-tecnica.it](mailto:informazioni@geo-tecnica.it)

**Accettazione n° 1954 del 23.06.2023**

**Richiedente:** Dott. Geol. Nazario Di Lella

**Committente:** IVPC srl

**Progetto:** progetto di rifacimento di un parco eolico in provincia di Benevento pari a 146,40MW su 24 aerogeneratori

**Località:** F.1 p.lle 113, 206 -Comune di San Giorgio La Molara (BN)

**Data esecuzione:** 26.07.2023

**Rapporto di prova:** n° 924 del 28.07.2023

dove:

$V_{s,i}$ : velocità delle onde di taglio nell' i-esimo strato

$h_i$ : spessore in metri dello strato i-esimo

N: numero di strati

H: profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione. Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  è definita dal parametro  $V_{s,30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

La determinazione della  $V_{s,eq}$  avviene attraverso specifiche indagini geofisiche che si basano sulla propagazione delle onde sismiche nel sottosuolo.

In generale, le indagini sismiche si dividono in attive e passive. Le prime consistono nella generazione di onde sismiche che si propagano nel sottosuolo in seguito ad una energizzazione, che avviene tramite massa battente o scoppio, in un punto sorgente. Le onde generate vengono successivamente registrate da geofoni, rilevatori del moto del suolo, disposti lungo una linea sismica. Le indagini sismiche passive, invece, sono caratterizzate dalla registrazione del rumore sismico generato da sorgenti naturali e/o artificiali (rumore antropico).

#### **Indagine sismica con tecnica "Down-Hole"**

L'indagine sismica in foro di tipo down-hole viene effettuata mediante l'utilizzo di una sorgente energizzante in superficie ed una sonda di ricezione in configurazione triassiale calata in foro. La sonda di ricezione triassiale è costituita da tre geofoni (uno verticale e due orizzontali posti ortogonalmente tra di loro). Uno specifico sistema di tipo meccanico permette alla sonda di ancorarsi alle pareti del foro alle profondità stabilite. Il geofono verticale registra l'arrivo delle onde P, mentre i due geofoni orizzontali registrano l'arrivo delle onde S. Nella tecnica down-hole un sismografo registra il treno d'onda generato dalla sorgente ed arrivato al ricevitore calato in foro; ne risulta un sismogramma nel quale si possono individuare i tempi di arrivo delle onde dirette (onde P) e di taglio (onde S), a seconda di come viene direzionata l'energizzazione e del ricevitore utilizzato. Dal risultante tempo di arrivo delle onde sismiche tramite il percorso diretto tra sorgente e ricevitore si può risalire alle velocità sismiche P ed S per quanto riguarda il terreno indagato, sino alla profondità raggiunta dalla sonda triassiale ( $\text{Velocità sismica [m/s]} = \text{distanza sorgente-ricevitore [m]} / \text{tempo di percorrenza [millisecondi]}$ ). La sorgente energizzante è costituita da una massa battente di 8 kg. Per la generazione delle onde P viene effettuata un'energizzazione verticale su piastra mentre per la generazione delle onde S l'energizzazione è orizzontale su un lato o entrambi i lati di una traversina di legno posta sotto le ruote di un automezzo, il cui peso ha il compito di rendere la stessa più solidale col terreno in modo da trasmettere al meglio le onde di taglio generate.

#### **Strumentazione utilizzata per tecnica Down-Hole**

L'indagine è stata condotta mediante l'utilizzo del sismografo GEA24 della PASI srl (via Galliari 5/E TORINO, con canali a 24 bit (con PC esterno) adatto a RIFRAZIONE, RIFLESSIONE SUPERFICIALE, ONDE DI SUPERFICIE (MASW, Re.Mi.,  $V_{s,eq}$ , MAAM, ESAC, ecc.) HVSR/ VIBRAZIONI, DOWNHOLE, CROSSHOLE, utilizzando un Geofono da foro 3D "GFA-50"

I segnali sismici acquisiti sono stati successivamente elaborati con un apposito programma INTERSISM della GeoSoft dell'ing. Giorgio Scioldo, per la determinazione della sismostratigrafia del sottosuolo.

Il direttore del laboratorio

Dott. Geol. Umberto Lonardo



INDAGINI GEOGNOSTICHE - GEOTECNICA - SISMICA

GEO-TECNICA SRL – Zona Industriale Ponte Valentino  
82100 Benevento www.geo-tecnica.it e-mail: informazioni@geo-tecnica.it

**Accettazione n° 1954 del 23.06.2023**

**Richiedente:** Dott. Geol. Nazario Di Lella

**Committente:** IVPC srl

**Progetto:** progetto di rifacimento di un parco eolico in provincia di Benevento pari a 146,40MW su 24 aerogeneratori

**Località** F.1 p.lle 113, 206 -Comune di San Giorgio La Molarà (BN)

**Data esecuzione:** 26.07.2023

**Rapporto di prova:** n° 924 del 28.07.2023

## **Premessa**

Il sottoscritto dott. geol. Giuseppe Pasquale, iscritto all'Ordine dei Geologi della Regione Campania al n. 2319, veniva incaricato dalla GEO-TECNICA srl con sede alla Z.I. Ponte Valentino-Benevento di eseguire la caratterizzazione sismica nel Comune di San Giorgio La Molarà (BN), Località F.1 p.lle 113, 206, per i lavori relativi a "progetto di rifacimento di un parco eolico in provincia di Benevento pari a 146,40MW su 24 aerogeneratori". La ditta committente è rappresentata dall' IVPC srl.

Obiettivo della presente relazione geofisica è quello di definire, all'interno del sondaggio geognostico SGM 01, secondo quanto previsto dalla normativa vigente in materia il parametro  $V_{s,eq}$  attraverso la stima delle velocità dei terreni con l'esecuzione di n. 1 prova sismica di tipo DOWN-HOLE mediante la caratterizzazione dinamica del sottosuolo con l'individuazione delle principali unità sismostratigrafiche e delle relative proprietà elastiche.

Di seguito vengono riportati i risultati delle elaborazioni dell'indagine eseguita.

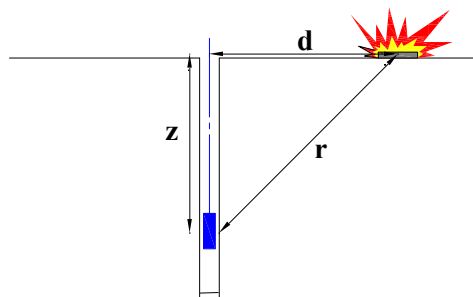
Prova sismica in foro tipo DOWN-HOLE DH1: rapporto di prova n. 924 del 28.07.2023

## Acquisizione ed elaborazione dei dati DH1

La prova sismica DH è stata eseguita all'interno del sondaggio geognostico SGM 01 opportunamente condizionato e per la registrazione delle onde sismiche è stato utilizzato un geofono tridimensionale da foro (o sonda geofonica). L'ancoraggio della sonda alla parete della tubazione (PVC  $\varnothing$  80 mm) è stato garantito da un pistone pneumatico azionato da un dispositivo ad aria compressa.

Per garantire la generazione degli impulsi P ed S è stata utilizzata, come fonte di energizzazione, una massa battente di 8 kg, e per ciascun punto di misura sono state effettuate 2 battute, una verticale e una orizzontale.

Nel caso in esame, la sorgente è stata posizionata ad una distanza di 1,00 m dal boccaforo (Tabella 1), per questo motivo nella fase di elaborazione dei dati è stata effettuata la correzione dei tempi. Se  $d$  è la distanza della sorgente dall'asse del foro (Figura 1),  $r$  la distanza fra la sorgente e il ricevitore,  $z$  la profondità di misura è possibile ottenere i tempi corretti ( $t_{corr}$ ) mediante la seguente formula di conversione:



$$t_{corr} = \frac{z}{r} t$$

Figura 1. Schema down-hole

Tabella 1: Geometria di acquisizione

Distanza da boccaforo (m)	1,00
Profondità raggiunta (m)	30,0
Intervallo di misura (m)	1,0

Attraverso uno specifico software per l'elaborazione dei dati sismici in foro (INTERSISM) le tracce sismiche relative alle onde P ed S di ogni sismogramma sono state separate e raggruppate in seguito in tre files distinti (uno per le onde P e due per onde S) contenenti tutte le tracce P o S alle diverse profondità. Dei due sismogrammi S è stato scelto quello col dato migliore, ovvero quello che al momento dell'acquisizione in foro era

orientato nella posizione più favorevole. Successivamente si è proceduto alla lettura dei tempi di arrivo.

Nella Tabella 2 vengono riportati i tempi corretti.

N° Geof.	Profondità [m]	Onde P [ms]	Onde S (X) [ms]	Onde P (corretti) [ms]	Onde S (X) (corretti) [ms]
1	1.00	5.38	9.00	3.80	6.36
2	2.00	7.12	13.00	6.36	11.63
3	3.00	8.38	16.00	7.95	15.18
4	4.00	9.17	18.50	8.90	17.95
5	5.00	11.38	21.10	11.16	20.69
6	6.00	12.65	23.33	12.48	23.01
7	7.00	13.12	25.41	12.99	25.15
8	8.00	14.50	28.38	14.38	28.16
9	9.00	15.43	32.39	15.34	32.19
10	10.00	16.08	34.32	16.00	34.15
11	11.00	17.30	36.70	17.22	36.55
12	12.00	18.23	38.93	18.17	38.79
13	13.00	18.59	41.75	18.53	41.63
14	14.00	19.66	43.24	19.61	43.13
15	15.00	19.95	44.57	19.91	44.47
16	16.00	20.67	47.10	20.63	47.01
17	17.00	21.10	49.77	21.06	49.69
18	18.00	21.82	50.00	21.78	49.92
19	19.00	22.68	52.00	22.65	51.93
20	20.00	23.18	55.00	23.15	54.93
21	21.00	23.54	56.00	23.51	55.94
22	22.00	23.83	58.00	23.80	57.94
23	23.00	24.47	60.00	24.45	59.94
24	24.00	24.90	61.50	24.88	61.45
25	25.00	25.26	63.50	25.24	63.45
26	26.00	26.05	65.50	26.03	65.45
27	27.00	26.19	67.50	26.18	67.45
28	28.00	26.77	69.00	26.75	68.96
29	29.00	27.13	71.00	27.11	70.96
30	30.00	27.70	73.00	27.69	72.96

**Tabella 2: tempi corretti secondo lo schema riportato in Figura 1**

Calcolati i tempi corretti per le onde P ed S, è stato realizzato il grafico tempo/profondità ed individuati i tratti a velocità omogenea (dromocrone) (Figura 2). La velocità media delle onde sismiche, relativa a strati omogenei di terreno, è rappresentata dalla pendenza dei segmenti di retta che meglio interpolano i punti sperimentali. In Figura 2 vengono riportate le dromocrone e i relativi sismostrati individuati.



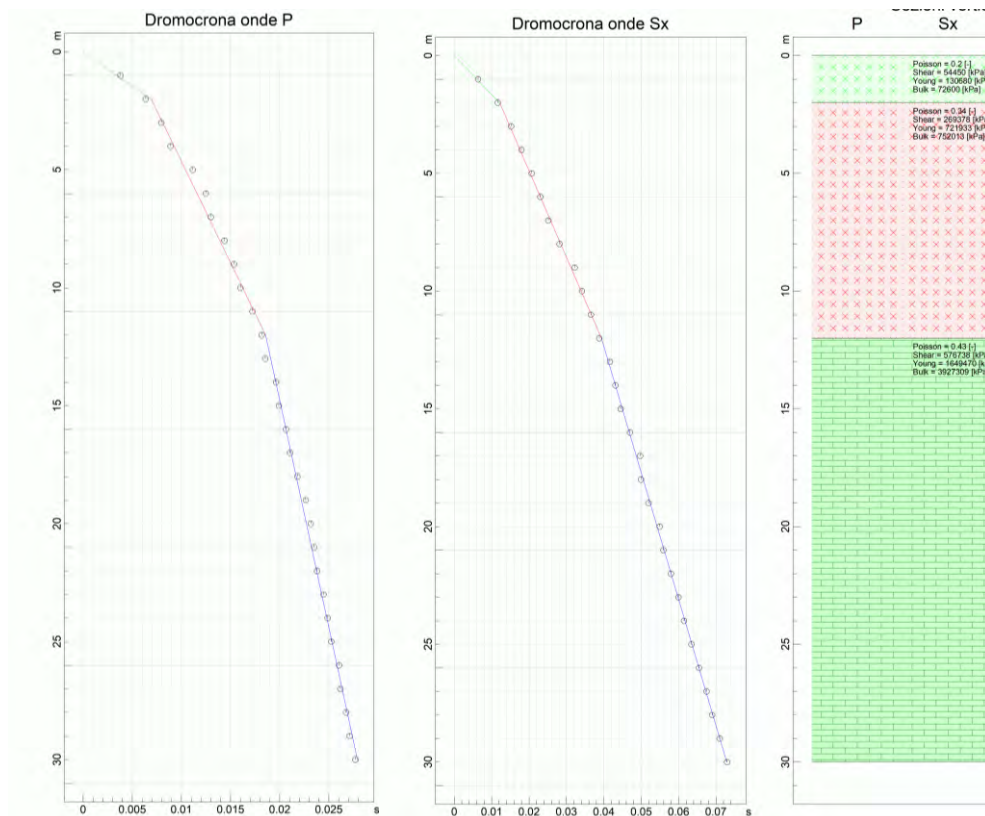


Figura 2: Dromocrone delle onde P ed S e relativi sismostrati

Nelle seguenti tabelle vengono riportati i parametri sismici ed elastici relativi agli strati individuati.

VELOCITA' ONDE P

Strato	Profondità [m]	Velocità [m/s]
1	2	289
2	12	860
3	30	1925

PARAMETRI ONDE SX

Strato	Profondità [m]	Velocità [m/s]	Poisson [-]	Shear [kPa]	Young [kPa]	Bulk [kPa]
1	2	165	0.20	54450.0	130680	72600.0
2	12	367	0.34	269378	721933	752013..
3	30	537	0.43	576738	1649470	3927309.0

Ai sensi del DM 17 gennaio 2018, si riporta il valore della  $V_{s,eq}$  (con  $H=30m$ ) riferito all'attuale piano campagna.

Prof. (m)	$V_{s,eq}$ (m/s)
0-30	412

## Conclusioni

L'indagine sismica (DOWN-HOLE) ha consentito di determinare il profilo verticale della Vs e, di conseguenza, del parametro Vs,eq come riportato nelle precedenti tabelle.

In riferimento alla Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni si riportano le categorie di sottosuolo di riferimento distinte in funzione del parametro Vs,eq\* (Tabella 3).

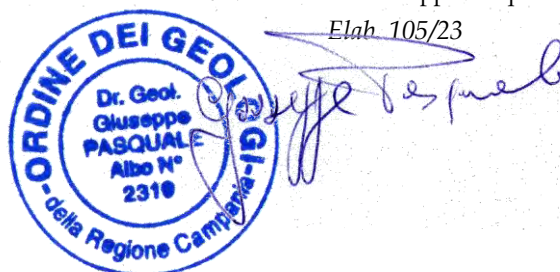
**Tabella 3: Categorie di sottosuolo (Tabella 3.2.II NTC 2018)**

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Il direttore del laboratorio  
Dott. Geol. Umberto Lonardo

Lo sperimentatore incaricato  
Dott. Geol. Giuseppe Pasquale

Elab. 105/23



\* La classificazione del terreno è di pertinenza dell'utente che ne deve valutare la tipologia sulla base della normativa vigente (NTC 2018) tenendo conto della locale successione stratigrafica. Si ricorda che per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio Vs,eq è definita dal parametro Vs,30, ottenuto ponendo H=30 m nella espressione [3.2.1] del § 3.2.2 NTC 2018 e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.





Accettazione n°1955

del 23 giugno 2023

Rapporto di prova n°830 e n° anno 2023



RICHIEDENTE:  
Dott. Geol. Nazario DI LELLA

COMMITTENTE:  
IVPC SRL

## PROGETTO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO IN PROVINCIA DI BENEVENTO DA 146,40 MW SU 24 AEROGENERATORI

Coord. UTM Long. 496720 Lat 4573710 F 01 p.lle 140 e 159  
SGM 02 - Comune di San Giorgio La Molara (BN)

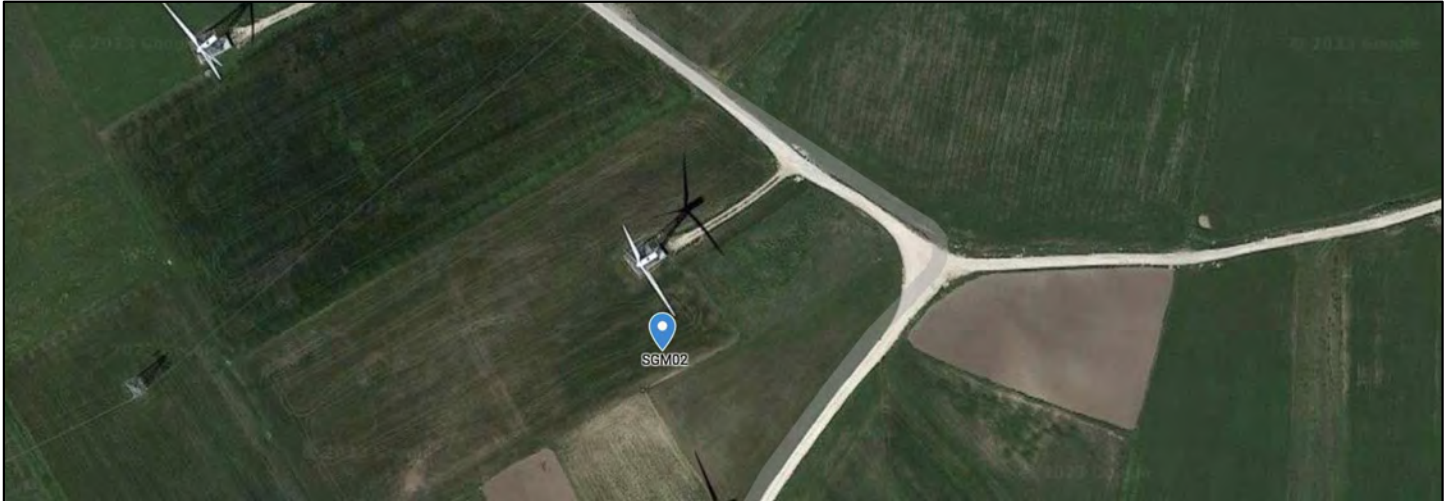


## INDAGINI IN SITO

### PROVE ESEGUITE

- Sondaggio geognostico SGM 02 a mt 30,0 rapp. di prova 830/23
- Prova sismica in foro del tipo Down-hole DH3 **rapp di prova xxxx/23**

### STRALCIO CON UBICAZIONE DELLE PROVE



### DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA

#### CAROTAGGIO CONTINUO

Tutte le indagini eseguite sono state effettuate a carotaggio continuo con il prelievo della carota disposta in apposite cassette catalogatrici. Il carotaggio è stato eseguito a secco, nei terreni più sciolti e con circolazione di fluido in quelli di natura litoide. L'espulsione della carota è stata effettuata o con spinta idraulica (acqua) o in caso di materiale litoide tramite martellamento del carotiere, il tutto raccolto in contenitore adatto e riposto, secondo la profondità, nelle apposite cassette. La strumentazione utilizzata per le indagini è la seguente: Sonda perforatrice a rotazione di marca Trivel MAc modello TM10FM, anno di produzione 2014, peso circa 10000 kg, coppia massima di rotazione 1000 kgm, velocità di rotazione massima 450 g/min; corsa di 3300 mm, Aste lunghezza 1500 mm diametro 76 mm spessore 6,6 mm, Carotiere di tipo semplice diametro 101 lunghezza 3000 mm e corona con denti in widia, Pompa fanghi del tipo a vite con pressione massima di esercizio di 30 bar

#### PRELIEVO DEI CAMPIONI INDISTURBATI

Raggiunta la profondità desiderata con la perforazione si è proceduti alla manovra di pulizia del foro mediante lavaggio con acqua pulita tale da rimuovere dal fondo del foro eventuale fango e detriti lasciati dalla manovra precedente. Il prelievo dei campioni è stato eseguito, a seconda del grado di consistenza del terreno, con un campionatore a pressione di tipo shelby con fustella a pareti sottili, nei terreni meno consistenti e con un campionatore rotativo denominato "Drill" nei terreni consistenti, litoidi e semilitoidi. Tale campionatore, che viene usato con circolazione di fluido, è costituito da una parte esterna con corona sottile al widia che esegue il taglio del terreno e da una fustella interna in acciaio collegata tramite una testa libera che permette alla fustella di inserirsi nel terreno senza ruotare. Il campione indisturbato, prelevato nella fustella, è stato regolarmente paraffinato e contrassegnato con i dati relativi al sondaggio, alla profondità e alla data di prelievo.

#### STANDARD PENETRATION TEST

La prova SPT si esegue durante la perforazione. Consiste nel registrare il numero di colpi necessari per far penetrare di 45 cm nel terreno a fondo foro un tubo campionatore di dimensioni standard, collegato alla superficie mediante batteria di aste in testa sulle quali agisce un maglio del peso di 63,5 kg che cade liberamente da un'altezza di 0,75 m.

Durante la prova si misura :

N 1= numero di colpi di maglio necessari a provocare l'avanzamento del campionatore per i primi 15 cm

N 2= numero di colpi che provoca la penetrazione del campionatore nei successivi 15 cm;

N 3= numero di colpi necessari per gli ultimi 15 cm di avanzamento.

Si assume come resistenza alla penetrazione il valore:  $NSPT = N2 + N3$

Si utilizzano le seguenti attrezzature standard:

Aste d'infissione del diametro esterno 50 mm e peso di 7 kg/m; Testa di battuta di acciaio avvitata sulle aste; Maglio di acciaio di 63,5 kg; Dispositivo automatico che consente la caduta del maglio da un'altezza di 0,76 m; Centratore di guida per le aste fra la testa di battuta e il piano campagna; Campionatore standard (detto Raymond dalla società che lo ha introdotto per prima). Si tratta di un tubo carotiere avente diametro esterno di 51 mm, spessore 16 mm e lunghezza complessiva comprendente scarpa e raccordo alle aste di 813 mm. Nei terreni ghiaiosi la scarpa del carotiere viene sostituita da una punta conica di diametro 51 mm e angolo 60°. Il campionatore Raymond consta di un tubo diviso longitudinalmente a metà, i due semitubi sono tenuti insieme, durante l'infissione, da una scarpa tagliente avvitata alla base e da un anello in testa. Alla fine della prova si svita la scarpa, il carotiere si apre in due permettendo di estrarre il campione

**Profondità:** 30,00 mt **Cassette:** n°6 **Quota p.c.** data esecuzione: da 5/7/2023 al 5/7/2023 **Attrezzatura:** Trivel Mac TM10

**Tipo carotaggio:** continuo Ø 101 mm **Tipo carotiere:** semplice **Rivestimento:** Ø 127 mm a mt 1,5 **Operatore:** Giuseppe Giglio

**Condizionamento foro e note:**

Foro condizionato con tubo in pvc per prova down-hole in foro

1,0 C1 A Campioni rimaneggiati ad uso ambientale A, (1,0 = profondità e C1 = n° campione)

Scala 1:150

Profondità metri	Spess. metri		SIMBOLO	DESCRIZIONE LITOLOGICA	% Carot 25 50 75	Camp. S=shelby O=Osterberg M=Mazier	Tubo Dow-hole	H <sub>2</sub> O	SPT A= punta aperta C=punta chiusa	Nspt	
	0,5	0,5									
1	0,5	0,5		Limo debolmente argilloso brunastro – terreno vegetale.							
	1,0	0,5		Limo sabbioso giallo variegato marrone alterato plastico.				0,2 C1A			
2	2,0	1,0		Limo debolmente argilloso di colore verdastro con fiammate giallastre-grigiastre varilivelli biancastri di depositi carbonatici.							
3											
4				Limo debolmente argilloso di colore verdastro con fiammate giallo-grigiastre e vari livelli biancastri di depositi carbonatici. All'inizio mediamente consistente consistente dopo i 5 metri. Alla base livelli oocracei.							
5								4,5			
6								C1 S			
7								5,0			
8	7,5	1,0		Limo debolmente argilloso e sabbioso di colore grigiastro con livelli giallastri, consistente.							
9	8,5	1,0								A Mt 7,0 (22-24-28)	52
10				Limo debolmente argilloso e leggermente sabbioso di colore grigio con rare sfumature rossastre, consistente.							
11								11,5			
12								C2 S			
13	12,9	4,4						12,0			
14				Limo debolmente sabbioso ed argilloso con livelli sabbiosi di colore grigiastro a tratti umido. Presenza di livelli sabbioso-arenacei e variabile grado di cementazione.							
15								15,2			
16								C2A			
17	17,2	4,3						16,5			
18				Alternanza di limo argilloso rossastro e grigiastro, compatto. Inclusi clasti centimetrici più abbondanti ad alcuni livelli, presenza di una struttura marnoso-arenacea a vari livelli in profondità.							
19								17,0			
20											
21											
22											
23											
24											
25								24,5			
26								C4 M			
27								25,0			
28											
29											
30	30,0	Fine Foro						29,7			
31											
32											
33											





**GEO-TECNICA**  
INDAGINI GEOGNOSTICHE - GEOTECNICA - SISMICA

GEO-TECNICA SRL – Zona Industriale Ponte Valentino  
82100 Benevento www.geo-tecnica.it e-mail: informazioni@geo-tecnica.it

Accettazione n° 1955 del 23.06.2023

Richiedente: Dott. Geol. Nazario Di Lella

Committente: IVPC srl

Progetto: progetto di rifacimento di un parco eolico in provincia di Benevento pari a 146,40MW su 24 aerogeneratori

Località F.1 p.lle 140, 159 -Comune di San Giorgio La Molara (BN)

Data esecuzione: 26.07.2023

Rapporto di prova: n° 925 del 28.07.2023

## INDAGINE SISMICA DOWN-HOLE DH2

### Ubicazione



### Normativa di riferimento

I disastrosi terremoti che negli ultimi anni hanno interessato l'Italia hanno determinato una riclassificazione sismica del territorio nazionale e una rivisitazione della normativa sismica che regola le costruzioni ricadenti in zone sismiche. Le Nuove Norme Tecniche sulle Costruzioni (NTC 17 gennaio 2018<sup>1</sup>), la normativa tecnica europea (Eurocodici EC7<sup>2</sup> e EC8<sup>3</sup>) e le più avanzate normative internazionali<sup>4</sup> disciplinano la progettazione e la costruzione di nuovi edifici soggetti ad azioni sismiche e la valutazione della sicurezza e degli interventi di adeguamento su edifici soggetti al medesimo tipo di azioni. Tali norme hanno lo scopo di assicurare che in caso di evento sismico sia protetta la vita umana, siano limitati i danni e rimangano funzionanti le strutture essenziali agli interventi di protezione civile. Fra le novità più importanti della nuova normativa tecnica in materia di progettazione antisismica vi è l'estensione della zonazione sismica a tutto il territorio nazionale.

La necessità di investigare il sottosuolo ha indirizzato i ricercatori a studiare tecniche non invasive, e quindi economiche, veloci e pratiche, per effettuare caratterizzazioni sismostratigrafiche del sottosuolo. Per ottemperare a quanto prescritto dalla normativa vigente è necessario determinare le azioni sismiche previste su nuove costruzioni, ampliamenti e ristrutturazioni importanti che ricadono in zona sismica, attraverso la determinazione della  $V_{s,eq}$  in m/s (velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio). A tale parametro vengono attribuiti intervalli di variazione a cui corrispondono differenti categorie di sottosuolo (§ 3.2.2 NTC 2018). Il parametro  $V_{s,eq}$  è calcolato mediante la seguente espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}} [m/s]$$

<sup>1</sup> Decreto del Ministero delle Infrastrutture 17 gennaio 2018, pubblicato sul supplemento ordinario n. 42 del 20 febbraio 2018

<sup>2</sup> CEN 1994, Geotechnical Design, General Rules, European Committee for Standardisation (CEN), Eurocode 7 Part 1.

<sup>3</sup> CEN 2003, Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, Final Draft, prEN 1998-1, Brussels;

<sup>4</sup> CEN 2004, Design of structures for earthquake resistance - Part 3: Assessment and retrofitting for buildings, Draft No 7, prEN 1998-3, Brussels.

<sup>5</sup> Applied Technology Council, 1996, Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Volume 1, California;

ACI 318, Building Code Requirements for Reinforced Concrete and Commentary, American Concrete Institute, Michigan, 2000;

Standards New Zealand, The design of concrete structures, NZS 3101, Wellington, 1995;

Canada Standards, The design of concrete structures, CSA-A23.3-04, Canada, 2005.



INDAGINI GEOGNOSTICHE - GEOTECNICA - SISMICA

GEO-TECNICA SRL – Zona Industriale Ponte Valentino  
82100 Benevento [www.geo-tecnica.it](http://www.geo-tecnica.it) e-mail: [informazioni@geo-tecnica.it](mailto:informazioni@geo-tecnica.it)

**Accettazione n° 1955 del 23.06.2023**

**Richiedente:** Dott. Geol. Nazario Di Lella

**Committente:** IVPC srl

**Progetto:** progetto di rifacimento di un parco eolico in provincia di Benevento pari a 146,40MW su 24 aerogeneratori

**Località:** F.1 p.lle 140, 159 -Comune di San Giorgio La Molara (BN)

**Data esecuzione:** 26.07.2023

**Rapporto di prova:** n° 925 del 28.07.2023

dove:

$V_{s,i}$ : velocità delle onde di taglio nell' i-esimo strato

$h_i$ : spessore in metri dello strato i-esimo

N: numero di strati

H: profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione. Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  è definita dal parametro  $V_{s,30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

La determinazione della  $V_{s,eq}$  avviene attraverso specifiche indagini geofisiche che si basano sulla propagazione delle onde sismiche nel sottosuolo.

In generale, le indagini sismiche si dividono in attive e passive. Le prime consistono nella generazione di onde sismiche che si propagano nel sottosuolo in seguito ad una energizzazione, che avviene tramite massa battente o scoppio, in un punto sorgente. Le onde generate vengono successivamente registrate da geofoni, rilevatori del moto del suolo, disposti lungo una linea sismica. Le indagini sismiche passive, invece, sono caratterizzate dalla registrazione del rumore sismico generato da sorgenti naturali e/o artificiali (rumore antropico).

#### Indagine sismica con tecnica "Down-Hole"

L'indagine sismica in foro di tipo down-hole viene effettuata mediante l'utilizzo di una sorgente energizzante in superficie ed una sonda di ricezione in configurazione triassiale calata in foro. La sonda di ricezione triassiale è costituita da tre geofoni (uno verticale e due orizzontali posti ortogonalmente tra di loro). Uno specifico sistema di tipo meccanico permette alla sonda di ancorarsi alle pareti del foro alle profondità stabilite. Il geofono verticale registra l'arrivo delle onde P, mentre i due geofoni orizzontali registrano l'arrivo delle onde S. Nella tecnica down-hole un sismografo registra il treno d'onda generato dalla sorgente ed arrivato al ricevitore calato in foro; ne risulta un sismogramma nel quale si possono individuare i tempi di arrivo delle onde dirette (onde P) e di taglio (onde S), a seconda di come viene direzionata l'energizzazione e del ricevitore utilizzato. Dal risultante tempo di arrivo delle onde sismiche tramite il percorso diretto tra sorgente e ricevitore si può risalire alle velocità sismiche P ed S per quanto riguarda il terreno indagato, sino alla profondità raggiunta dalla sonda triassiale ( $\text{Velocità sismica [m/s]} = \text{distanza sorgente-ricevitore [m]} / \text{tempo di percorrenza [millisecondi]}$ ). La sorgente energizzante è costituita da una massa battente di 8 kg. Per la generazione delle onde P viene effettuata un'energizzazione verticale su piastra mentre per la generazione delle onde S l'energizzazione è orizzontale su un lato o entrambi i lati di una traversina di legno posta sotto le ruote di un automezzo, il cui peso ha il compito di rendere la stessa più solidale col terreno in modo da trasmettere al meglio le onde di taglio generate.

#### Strumentazione utilizzata per tecnica Down-Hole

L'indagine è stata condotta mediante l'utilizzo del sismografo GEA24 della PASI srl (via Galliari 5/E TORINO, con canali a 24 bit (con PC esterno) adatto a RIFRAZIONE, RIFLESSIONE SUPERFICIALE, ONDE DI SUPERFICIE (MASW, Re.Mi.,  $V_{s,eq}$ , MAAM, ESAC, ecc.) HVSR/ VIBRAZIONI, DOWNHOLE, CROSSHOLE, utilizzando un Geofono da foro 3D "GFA-50"

I segnali sismici acquisiti sono stati successivamente elaborati con un apposito programma INTERSISM della GeoSoft dell'ing. Giorgio Scioldo, per la determinazione della sismostratigrafia del sottosuolo.

Il direttore del laboratorio

Dott. Geol. Umberto Lonardo





INDAGINI GEOGNOSTICHE - GEOTECNICA - SISMICA

GEO-TECNICA SRL – Zona Industriale Ponte Valentino  
82100 Benevento www.geo-tecnica.it e-mail: informazioni@geo-tecnica.it

**Accettazione n° 1955 del 23.06.2023**

**Richiedente:** Dott. Geol. Nazario Di Lella

**Committente:** IVPC srl

**Progetto:** progetto di rifacimento di un parco eolico in provincia di Benevento pari a 146,40MW su 24 aerogeneratori

**Località** F.1 p.lle 140, 159 -Comune di San Giorgio La Molarà (BN)

**Data esecuzione:** 26.07.2023

**Rapporto di prova:** n° 925 del 28.07.2023

## **Premessa**

Il sottoscritto dott. geol. Giuseppe Pasquale, iscritto all'Ordine dei Geologi della Regione Campania al n. 2319, veniva incaricato dalla GEO-TECNICA srl con sede alla Z.I. Ponte Valentino-Benevento di eseguire la caratterizzazione sismica nel Comune di San Giorgio La Molarà (BN), Località F.1 p.lle 140, 159, per i lavori relativi a "progetto di rifacimento di un parco eolico in provincia di Benevento pari a 146,40MW su 24 aerogeneratori". La ditta committente è rappresentata dall' IVPC srl.

Obiettivo della presente relazione geofisica è quello di definire, all'interno del sondaggio geognostico SGM 02, secondo quanto previsto dalla normativa vigente in materia il parametro  $V_{s,eq}$  attraverso la stima delle velocità dei terreni con l'esecuzione di n. 1 prova sismica di tipo DOWN-HOLE mediante la caratterizzazione dinamica del sottosuolo con l'individuazione delle principali unità sismostratigrafiche e delle relative proprietà elastiche.

Di seguito vengono riportati i risultati delle elaborazioni dell'indagine eseguita.

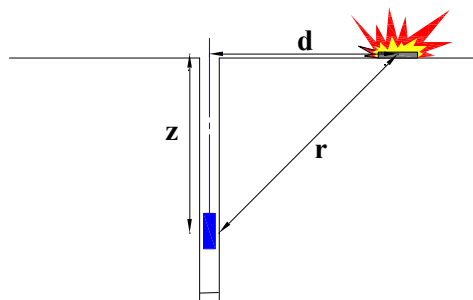
Prova sismica in foro tipo DOWN-HOLE DH2: rapporto di prova n. 925 del 28.07.2023

## Acquisizione ed elaborazione dei dati DH2

La prova sismica DH è stata eseguita all'interno del sondaggio geognostico SGM 02 opportunamente condizionato e per la registrazione delle onde sismiche è stato utilizzato un geofono tridimensionale da foro (o sonda geofonica). L'ancoraggio della sonda alla parete della tubazione (PVC  $\varnothing$  80 mm) è stato garantito da un pistone pneumatico azionato da un dispositivo ad aria compressa.

Per garantire la generazione degli impulsi P ed S è stata utilizzata, come fonte di energizzazione, una massa battente di 8 kg, e per ciascun punto di misura sono state effettuate 2 battute, una verticale e una orizzontale.

Nel caso in esame, la sorgente è stata posizionata ad una distanza di 1,30 m dal boccaforo (Tabella 1), per questo motivo nella fase di elaborazione dei dati è stata effettuata la correzione dei tempi. Se  $d$  è la distanza della sorgente dall'asse del foro (Figura 1),  $r$  la distanza fra la sorgente e il ricevitore,  $z$  la profondità di misura è possibile ottenere i tempi corretti ( $t_{corr}$ ) mediante la seguente formula di conversione:



$$t_{corr} = \frac{z}{r} t$$

Figura 1. Schema down-hole

Tabella 1: Geometria di acquisizione

Distanza da boccaforo (m)	1,30
Profondità raggiunta (m)	30,0
Intervallo di misura (m)	1,0

Attraverso uno specifico software per l'elaborazione dei dati sismici in foro (INTERSISM) le tracce sismiche relative alle onde P ed S di ogni sismogramma sono state separate e raggruppate in seguito in tre files distinti (uno per le onde P e due per onde S) contenenti tutte le tracce P o S alle diverse profondità. Dei due sismogrammi S è stato scelto quello col dato migliore, ovvero quello che al momento dell'acquisizione in foro era

orientato nella posizione più favorevole. Successivamente si è proceduto alla lettura dei tempi di arrivo.

Nella Tabella 2 vengono riportati i tempi corretti.

N° Geof.	Profondità [m]	Onde P [ms]	Onde S (X) [ms]	Onde P (corretti) [ms]	Onde S (X) (corretti) [ms]
1	1.00	9.00	6.50	6.36	4.60
2	2.00	10.00	15.06	8.94	13.47
3	3.00	11.50	20.98	10.91	19.90
4	4.00	12.50	25.28	12.13	24.52
5	5.00	13.00	29.58	12.75	29.01
6	6.00	13.50	31.37	13.32	30.95
7	7.00	14.50	36.93	14.35	36.56
8	8.00	15.00	38.37	14.88	38.07
9	9.00	16.00	41.59	15.90	41.34
10	10.00	17.00	45.00	16.92	44.78
11	11.00	18.00	47.15	17.93	46.96
12	12.00	18.50	51.28	18.44	51.10
13	13.00	19.00	54.32	18.94	54.16
14	14.00	20.00	57.19	19.95	57.05
15	15.00	21.00	58.98	20.95	58.85
16	16.00	21.50	62.21	21.46	62.09
17	17.00	22.00	63.65	21.96	63.54
18	18.00	23.50	66.34	23.46	66.23
19	19.00	24.00	69.56	23.97	69.47
20	20.00	24.81	71.18	24.78	71.09
21	21.00	25.50	73.69	25.47	73.60
22	22.00	26.50	75.48	26.47	75.40
23	23.00	27.00	77.81	26.97	77.74
24	24.00	28.00	79.78	27.98	79.71
25	25.00	28.50	82.11	28.48	82.05
26	26.00	29.50	83.01	29.48	82.95
27	27.00	30.50	83.37	30.48	83.31
28	28.00	31.00	85.70	30.98	85.64
29	29.00	31.26	87.31	31.24	87.26
30	30.00	32.00	88.09	31.98	88.04

**Tabella 2: tempi corretti secondo lo schema riportato in Figura 1**

Calcolati i tempi corretti per le onde P ed S, è stato realizzato il grafico tempo/profondità ed individuati i tratti a velocità omogenea (dromocrone) (Figura 2). La velocità media delle onde sismiche, relativa a strati omogenei di terreno, è rappresentata dalla pendenza dei segmenti di retta che meglio interpolano i punti sperimentali. In Figura 2 vengono riportate le dromocrone e i relativi sismostrati individuati.



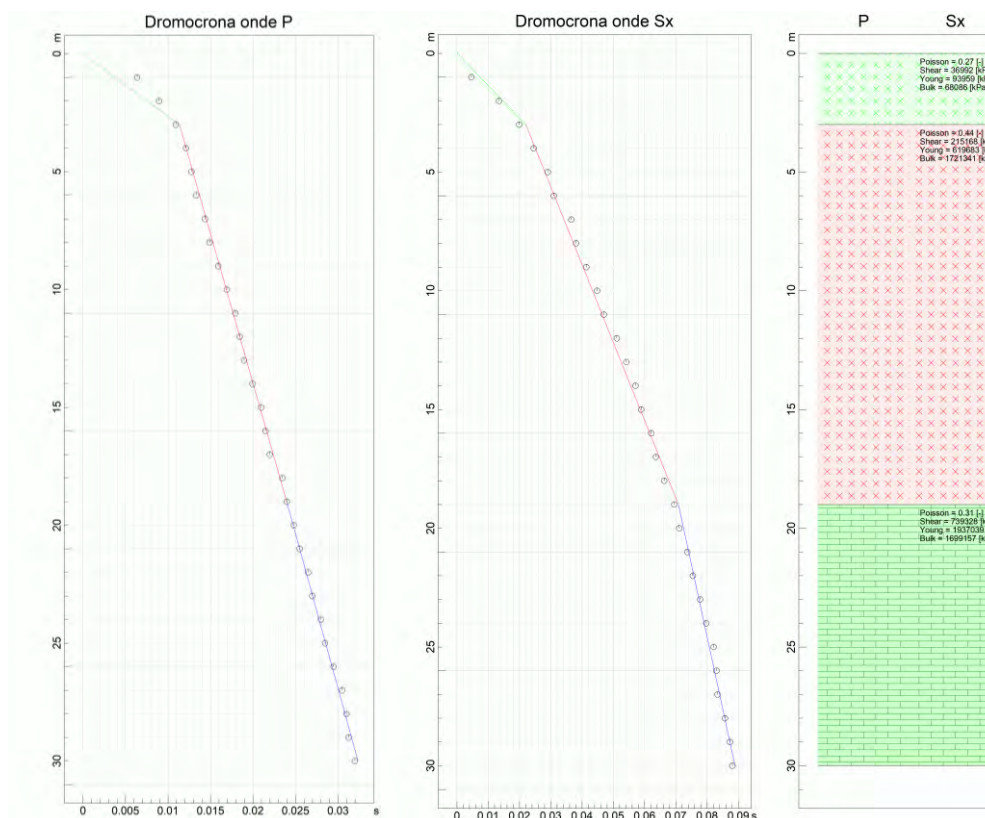


Figura 2: Dromocrone delle onde P ed S e relativi sismostrati

Nelle seguenti tabelle vengono riportati i parametri sismici ed elastici relativi agli strati individuati.

VELOCITA' ONDE P

Strato	Profondità [m]	Velocità [m/s]
1	3	265
2	19	1268
3	30	1312

PARAMETRI ONDE SX

Strato	Profondità [m]	Velocità [m/s]	Poisson [-]	Shear [kPa]	Young [kPa]	Bulk [kPa]
1	3	136	0.27	36992.0	93959.0	68086.0
2	19	328	0.44	215168	619683	1721341.0
3	30	608	0.31	739328	1937039.0	1699157.0

Ai sensi del DM 17 gennaio 2018, si riporta il valore della  $V_{s,eq}$  (con  $H=30m$ ) riferito all'attuale piano campagna.

Prof. (m)	$V_{s,eq}$ (m/s)
0-30	338

## Conclusioni

L'indagine sismica (DOWN-HOLE) ha consentito di determinare il profilo verticale della Vs e, di conseguenza, del parametro Vs,eq come riportato nelle precedenti tabelle.

In riferimento alla Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni si riportano le categorie di sottosuolo di riferimento distinte in funzione del parametro Vs,eq\* (Tabella 3).

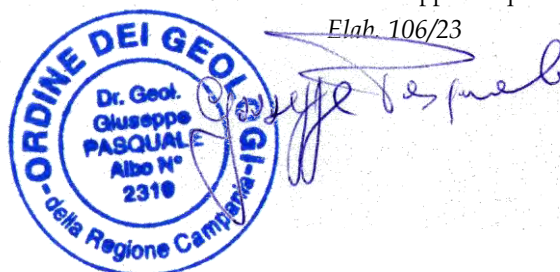
Tabella 3: Categorie di sottosuolo (Tabella 3.2.II NTC 2018)

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Il direttore del laboratorio  
Dott. Geol. Umberto Lonardo

Lo sperimentatore incaricato  
Dott. Geol. Giuseppe Pasquale

Elab. 106/23



\* La classificazione del terreno è di pertinenza dell'utente che ne deve valutare la tipologia sulla base della normativa vigente (NTC 2018) tenendo conto della locale successione stratigrafica. Si ricorda che per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio Vs,eq è definita dal parametro Vs,30, ottenuto ponendo H=30 m nella espressione [3.2.1] del § 3.2.2 NTC 2018 e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.





Accettazione n°1957

del 23 giugno 2023

Rapporto di prova n°831 e n°917 anno 2023



RICHIEDENTE:  
**Dott. Geol. Nazario DI LELLA**

COMMITTENTE:  
**IVPC SRL**

**PROGETTO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO IN  
PROVINCIA DI BENEVENTO DA 146,40 MW SU 24  
AEROGENERATORI**

Coord. UTM Long. 496189 Lat 4572643 F 02 p.lle 344, 327 e 204  
**SGM 04 - Comune di San Giorgio La Molara (BN)**



## INDAGINI IN SITO

### PROVE ESEGUITE

- Sondaggio geognostico SGM 04 a mt 30,0 rapp. di prova 831/23
- Prova sismica in foro del tipo Down-hole DH4 rapp di prova 917/23

### STRALCIO CON UBICAZIONE DELLE PROVE



### CAROTAGGIO CONTINUO

Tutte le indagini eseguite sono state effettuate a carotaggio continuo con il prelievo della carota disposta in apposite cassette catalogatrici. Il carotaggio è stato eseguito a secco, nei terreni più sciolti e con circolazione di fluido in quelli di natura litoide. L'espulsione della carota è stata effettuata o con spinta idraulica (acqua) o in caso di materiale litoide tramite martellamento del carotiere, il tutto raccolto in contenitore adatto e riposto, secondo la profondità, nelle apposite cassette. La strumentazione utilizzata per le indagini è la seguente: Sonda perforatrice a rotazione di marca Trivel MAc modello TM10FM, anno di produzione 2014, peso circa 10000 kg, coppia massima di rotazione 1000 kgm, velocità di rotazione massima 450 g/min; corsa di 3300 mm, Aste lunghezza 1500 mm diametro 76 mm spessore 6,6 mm, Carotiere di tipo semplice diametro 101 lunghezza 3000 mm e corona con denti in widia, Pompa fanghi del tipo a vite con pressione massima di esercizio di 30 bar

### PRELIEVO DEI CAMPIONI INDISTURBATI

Raggiunta la profondità desiderata con la perforazione si è proceduti alla manovra di pulizia del foro mediante lavaggio con acqua pulita tale da rimuovere dal fondo del foro eventuale fango e detriti lasciati dalla manovra precedente. Il prelievo dei campioni è stato eseguito, a seconda del grado di consistenza del terreno, con un campionatore a pressione di tipo shelby con fustella a pareti sottili, nei terreni meno consistenti e con un campionatore rotativo denominato "Drill" nei terreni consistenti, litoidi e semilitoidi. Tale campionatore, che viene usato con circolazione di fluido, è costituito da una parte esterna con corona sottile al widia che esegue il taglio del terreno e da una fustella interna in acciaio collegata tramite una testa libera che permette alla fustella di inserirsi nel terreno senza ruotare. Il campione indisturbato, prelevato nella fustella, è stato regolarmente paraffinato e contrassegnato con i dati relativi al sondaggio, alla profondità e alla data di prelievo.

### STANDARD PENETRATION TEST

La prova SPT si esegue durante la perforazione. Consiste nel registrare il numero di colpi necessari per far penetrare di 45 cm nel terreno a fondo foro un tubo campionatore di dimensioni standard, collegato alla superficie mediante batteria di aste in testa sulle quali agisce un maglio del peso di 63,5 kg che cade liberamente da un'altezza di 0,75 m.

Durante la prova si misura:

N 1= numero di colpi di maglio necessari a provocare l'avanzamento del campionatore per i primi 15 cm

N 2= numero di colpi che provoca la penetrazione del campionatore nei successivi 15 cm;

N 3= numero di colpi necessari per gli ultimi 15 cm di avanzamento.

Si assume come resistenza alla penetrazione il valore:  $NSPT = N2 + N3$

Si utilizzano le seguenti attrezzature standard:

Aste d'infissione del diametro esterno 50 mm e peso di 7 kg/m; Testa di battuta di acciaio avvitata sulle aste; Maglio di acciaio di 63,5 kg; Dispositivo automatico che consente la caduta del maglio da un'altezza di 0,76 m; Centratore di guida per le aste fra la testa di battuta e il piano campagna; Campionatore standard (detto Raymond dalla società che lo ha introdotto per prima). Si tratta di un tubo carotiere avente diametro esterno di 51 mm, spessore 16 mm e lunghezza complessiva comprendente scarpa e raccordo alle aste di 813 mm. Nei terreni ghiaiosi la scarpa del carotiere viene sostituita da una punta conica di diametro 51 mm e angolo 60°. Il campionatore Raymond consta di un tubo diviso longitudinalmente a metà, i due semitubi sono tenuti insieme, durante l'infissione, da una scarpa tagliente avvitata alla base e da un anello in testa. Alla fine della prova si svita la scarpa, il carotiere si apre in due permettendo di estrarre il campione


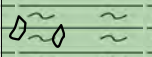
**Profondità:** 30,00 mt **Cassette:** n°6 **Quota p.c. data esecuzione:** da 6/7/2023 al 6/7/2023 **Attrezzatura:** Trivel Mac TM10  
**Tipo carotaggio:** continuo Ø 101 mm **Tipo carotiere:** semplice **Rivestimento:** Ø 127 mm a mt 1,5 **Operatore:** Giuseppe Giglio

**Condizionamento foro e note:**

Foro condizionato con tubo in pvc per prova down-hole in foro

**1,0 C1 A** Campioni rimaneggiati ad uso ambientale A, (1,0 = profondità e C1 = n° campione)

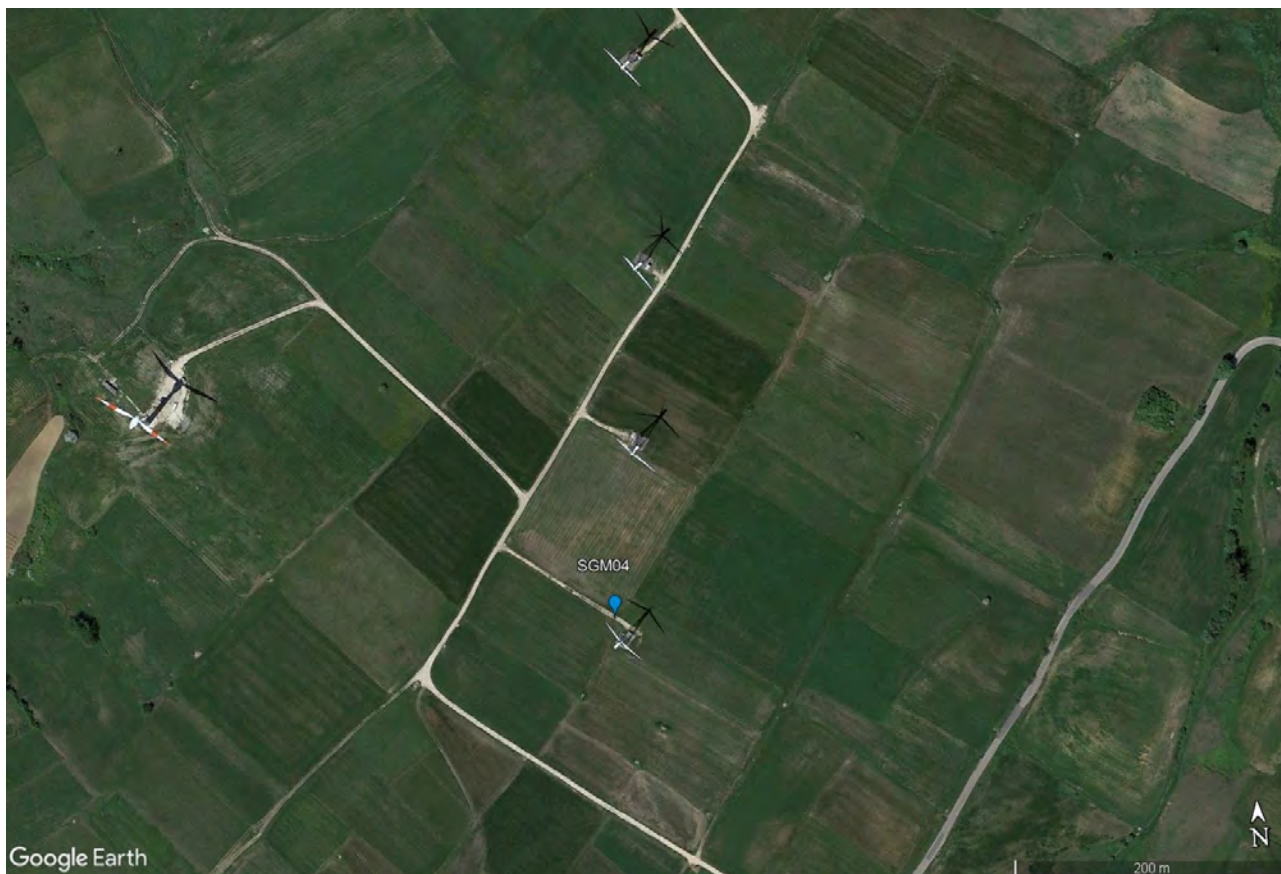
Scala 1:150

Profondità metri	Spess. metri	SIMBOLO	DESCRIZIONE LITOLOGICA	% Carot 25 50 75	Camp. S=shelby O=Osterberg M=Mazier	Tubo Dow-hole	H <sub>2</sub> O	SPT A= punta aperta C=punta chiusa	Nspt
1	1,0		Limo sabbioso ed argilloso sciolto di colore bruno rossiccio alterato, terreno vegetale		0,6 C1A				
2									
3			Limo debolmente argilloso e ghiaioso di colore prevalentemente verdastro con sfumature rossastre e grigiastre, i clasti sono eterodimensionali a spigoli di natura prevalentemente calcarenitica, si presenta a tratti abbastanza compressibile con bassa percentuale di carotaggio.						
4									
5	5,0	4,0			4,5 C1 S				
6	6,0	1,0	Limo argilloso ghiaioso di colore grigio, i clasti risultano molto abbondanti di natura calcarenitica e dimensioni massime di 4-5 cm, umida.		5,0				
7			Limo debolmente argilloso e sabbioso con rari clasti calcarenitici inclusi.						
8	7,5	1,0						A Mt 7,0 (8-11-11)	22
9									
10			Alternanza di livelli limosi argillosi debolmente sabbiosi di colore rossastro e grigiastro inclusi rari clasti calcarenitici, nella parte rossastra è presente una struttura a scagli minute. Materiali di discreta consistenza.		10,5 C2 S				
11	11,2	3,7			11,0				
12									
13			Limo argilloso sabbioso e ghiaioso di colore grigio, i clasti risultano molto abbondanti di natura calcarenitica e dimensioni medie di 4-5 cm, con qualche clasto superiore, probabile circolazione idrica. Bassa percentuale di recupero del materiale.						
14									
15	14,7	3,5						A Mt 15,5 (10-12-10)	22
16	15,5	0,8	Limo argilloso rossastro grigiastro abbastanza consistente.						
17			Limo argilloso rossastro leggermente plastico con inclusi rari clasti minuti.						
18	17,2	1,7			17,5 C3 S				
19					18,0				
20					18,8 C2A			C Mt 19,5 (18-18-21)	39
21									
22			Limo argilloso grigiastro alternato a livelli limo argillosi rossastri. Presenza di livelletti debolmente sabbiosi, a tratti leggermente umidi. La consistenza è media e variabile, maggiore nella parte grigiastro.						
23									
24									
25									
26									
27	26,7	9,5			25,0 C4 M				
28					25,5				
29			Limo argilloso sabbioso di colore grigiastro con sfumature rossastre, con livelli con scaglie marnose leggermente scompagnate dopo la perforazione. In alcuni punti si presenta leggermente umido e leggermente plastico. Dopo i 29 metri assume una colorazione verde-grigiastra uniforme.						
30	30,0	Fine Foro							
31									
32									
33									



## INDAGINE SISMICA DOWN-HOLE DH4

### Ubicazione



### Normativa di riferimento

I disastrosi terremoti che negli ultimi anni hanno interessato l'Italia hanno determinato una riclassificazione sismica del territorio nazionale e una rivisitazione della normativa sismica che regola le costruzioni ricadenti in zone sismiche. Le Nuove Norme Tecniche sulle Costruzioni (NTC 17 gennaio 2018<sup>1</sup>), la normativa tecnica europea (Eurocodici EC7<sup>2</sup> e EC8<sup>3</sup>) e le più avanzate normative internazionali<sup>4</sup> disciplinano la progettazione e la costruzione di nuovi edifici soggetti ad azioni sismiche e la valutazione della sicurezza e degli interventi di adeguamento su edifici soggetti al medesimo tipo di azioni. Tali norme hanno lo scopo di assicurare che in caso di evento sismico sia protetta la vita umana, siano limitati i danni e rimangano funzionanti le strutture essenziali agli interventi di protezione civile. Fra le novità più importanti della nuova normativa tecnica in materia di progettazione antisismica vi è l'estensione della zonazione sismica a tutto il territorio nazionale.

La necessità di investigare il sottosuolo ha indirizzato i ricercatori a studiare tecniche non invasive, e quindi economiche, veloci e pratiche, per effettuare caratterizzazioni sismostratigrafiche del sottosuolo. Per ottemperare a quanto prescritto dalla normativa vigente è necessario determinare le azioni sismiche previste su nuove costruzioni, ampliamenti e ristrutturazioni importanti che ricadono in zona sismica, attraverso la determinazione della  $V_{s,eq}$  in m/s (velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio). A tale parametro vengono attribuiti intervalli di variazione a cui corrispondono differenti categorie di sottosuolo (§ 3.2.2 NTC 2018). Il parametro  $V_{s,eq}$  è calcolato mediante la seguente espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}} \text{ .m/s}$$

<sup>1</sup> Decreto del Ministero delle Infrastrutture 17 gennaio 2018, pubblicato sul supplemento ordinario n. 42 del 20 febbraio 2018

<sup>2</sup> CEN 1994, Geotechnical Design, General Rules, European Committee for Standardisation (CEN), Eurocode 7 Part 1.

<sup>3</sup> CEN 2003, Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, Final Draft, prEN 1998-1, Brussels;

<sup>4</sup> CEN 2004, Design of structures for earthquake resistance – Part 3: Assessment and retrofitting for buildings, Draft No 7, prEN 1998-3, Brussels.

<sup>5</sup> Applied Technology Council, 1996, Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Volume 1, California;

ACI 318, Building Code Requirements for Reinforced Concrete and Commentary, American Concrete Institute, Michigan, 2000;

Standards New Zealand, The design of concrete structures, NZS 3101, Wellington, 1995;

Canada Standards, The design of concrete structures, CSA-A23.3-04, Canada, 2005.

dove:

Vs,i: velocità delle onde di taglio nell' i-esimo strato

hi: spessore in metri dello strato i-esimo

N: numero di strati

H: profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione. Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio Vs,eq è definita dal parametro Vs,30, ottenuto ponendo H=30 m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

La determinazione della Vs,eq avviene attraverso specifiche indagini geofisiche che si basano sulla propagazione delle onde sismiche nel sottosuolo.

In generale, le indagini sismiche si dividono in attive e passive. Le prime consistono nella generazione di onde sismiche che si propagano nel sottosuolo in seguito ad una energizzazione, che avviene tramite massa battente o scoppio, in un punto sorgente. Le onde generate vengono successivamente registrate da geofoni, rilevatori del moto del suolo, disposti lungo una linea sismica. Le indagini sismiche passive, invece, sono caratterizzate dalla registrazione del rumore sismico generato da sorgenti naturali e/o artificiali (rumore antropico).

#### Indagine sismica con tecnica "Down-Hole"

L'indagine sismica in foro di tipo down-hole viene effettuata mediante l'utilizzo di una sorgente energizzante in superficie ed una sonda di ricezione in configurazione triassiale calata in foro. La sonda di ricezione triassiale è costituita da tre geofoni (uno verticale e due orizzontali posti ortogonalmente tra di loro). Uno specifico sistema di tipo meccanico permette alla sonda di ancorarsi alle pareti del foro alle profondità stabilite. Il geofono verticale registra l'arrivo delle onde P, mentre i due geofoni orizzontali registrano l'arrivo delle onde S. Nella tecnica down-hole un sismografo registra il treno d'onda generato dalla sorgente ed arrivato al ricevitore calato in foro; ne risulta un sismogramma nel quale si possono individuare i tempi di arrivo delle onde dirette (onde P) e di taglio (onde S), a seconda di come viene direzionata l'energizzazione e del ricevitore utilizzato. Dal risultante tempo di arrivo delle onde sismiche tramite il percorso diretto tra sorgente e ricevitore si può risalire alle velocità sismiche P ed S per quanto riguarda il terreno indagato, sino alla profondità raggiunta dalla sonda triassiale ( $\text{Velocità sismica [m/s]} = \text{distanza sorgente-ricevitore [m]} / \text{tempo di percorrenza [millisecondi]}$ ). La sorgente energizzante è costituita da una massa battente di 8 kg. Per la generazione delle onde P viene effettuata un'energizzazione verticale su piastra mentre per la generazione delle onde S l'energizzazione è orizzontale su un lato o entrambi i lati di una traversina di legno posta sotto le ruote di un automezzo, il cui peso ha il compito di rendere la stessa più solidale col terreno in modo da trasmettere al meglio le onde di taglio generate.

#### Strumentazione utilizzata per tecnica Down-Hole

L'indagine è stata condotta mediante l'utilizzo del sismografo GEA24 della PASI srl (via Galliari 5/E TORINO, con canali a 24 bit (con PC esterno) adatto a RIFRAZIONE, RIFLESSIONE SUPERFICIALE, ONDE DI SUPERFICIE (MASW, Re.Mi., Vs,eq, MAAM, ESAC, ecc.) HVSR/ VIBRAZIONI, DOWNHOLE, CROSSHOLE, utilizzando un Geofono da foro 3D "GFA-50"

I segnali sismici acquisiti sono stati successivamente elaborati con un apposito programma INTERSISM della GeoSoft dell'ing. Giorgio Sciolto, per la determinazione della sismostratigrafia del sottosuolo.

Il direttore del laboratorio

Dott. Geol. Umberto Lonardo





INDAGINI GEOGNOSTICHE - GEOTECNICA - SISMICA

GEO-TECNICA SRL – Zona Industriale Ponte Valentino  
82100 Benevento www.geo-tecnica.it e-mail: informazioni@geo-tecnica.it

**Accettazione n° 1957 del 23.06.2023**

**Richiedente:** Dott. Geol. Nazario Di Lella

**Committente:** IVPC srl

**Progetto:** progetto di rifacimento di un parco eolico in provincia di Benevento pari a 146,40MW su 24 aerogeneratori

**Località** F.2 p.lle 344, 327, 204 -Comune di San Giorgio La Molara (BN)

**Data esecuzione:** 27.07.2023

**Rapporto di prova:** n° 917 del 27.07.2023

## **Premessa**

Il sottoscritto dott. geol. Giuseppe Pasquale, iscritto all'Ordine dei Geologi della Regione Campania al n. 2319, veniva incaricato dalla GEO-TECNICA srl con sede alla Z.I. Ponte Valentino-Benevento di eseguire la caratterizzazione sismica nel Comune di San Giorgio La Molara (BN), Località F.2 p.lle 344, 327, 204, per i lavori relativi a "progetto di rifacimento di un parco eolico in provincia di Benevento pari a 146,40MW su 24 aerogeneratori". La ditta committente è rappresentata dall' IVPC srl.

Obiettivo della presente relazione geofisica è quello di definire, all'interno del sondaggio geognostico SGM 04, secondo quanto previsto dalla normativa vigente in materia il parametro  $V_{s,eq}$  attraverso la stima delle velocità dei terreni con l'esecuzione di n. 1 prova sismica di tipo DOWN-HOLE mediante la caratterizzazione dinamica del sottosuolo con l'individuazione delle principali unità sismostratigrafiche e delle relative proprietà elastiche.

Di seguito vengono riportati i risultati delle elaborazioni dell'indagine eseguita.

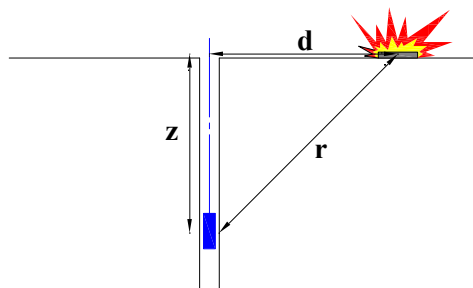
Prova sismica in foro tipo DOWN-HOLE DH4: rapporto di prova n. 917 del 27.07.2023

## Acquisizione ed elaborazione dei dati DH4

La prova sismica DH è stata eseguita all'interno del sondaggio geognostico SGM 04 opportunamente condizionato e per la registrazione delle onde sismiche è stato utilizzato un geofono tridimensionale da foro (o sonda geofonica). L'ancoraggio della sonda alla parete della tubazione (PVC  $\varnothing$  80 mm) è stato garantito da un pistone pneumatico azionato da un dispositivo ad aria compressa.

Per garantire la generazione degli impulsi P ed S è stata utilizzata, come fonte di energizzazione, una massa battente di 8 kg, e per ciascun punto di misura sono state effettuate 2 battute, una verticale e una orizzontale.

Nel caso in esame, la sorgente è stata posizionata ad una distanza di 1,00 m dal boccaforo (Tabella 1), per questo motivo nella fase di elaborazione dei dati è stata effettuata la correzione dei tempi. Se  $d$  è la distanza della sorgente dall'asse del foro (Figura 1),  $r$  la distanza fra la sorgente e il ricevitore,  $z$  la profondità di misura è possibile ottenere i tempi corretti ( $t_{corr}$ ) mediante la seguente formula di conversione:



$$t_{corr} = \frac{z}{r} t$$

Figura 1. Schema down-hole

## Tabella 1: Geometria di acquisizione

Distanza da boccaforo (m)	1,00
Profondità raggiunta (m)	30,0
Intervallo di misura (m)	1,0

Attraverso uno specifico software per l'elaborazione dei dati sismici in foro (INTERSISM) le tracce sismiche relative alle onde P ed S di ogni sismogramma sono state separate e raggruppate in seguito in tre files distinti (uno per le onde P e due per onde S) contenenti tutte le tracce P o S alle diverse profondità. Dei due sismogrammi S è stato scelto quello col dato migliore, ovvero quello che al momento dell'acquisizione in foro era

orientato nella posizione più favorevole. Successivamente si è proceduto alla lettura dei tempi di arrivo.

Nella Tabella 2 vengono riportati i tempi corretti.

N° Geof.	Profondità [m]	Onde P [ms]	Onde S (X) [ms]	Onde P (corretti) [ms]	Onde S (X) (corretti) [ms]
1	1.00	6.25	9.00	4.42	6.36
2	2.00	8.96	13.50	8.01	12.07
3	3.00	11.88	18.00	11.27	17.08
4	4.00	13.34	22.00	12.94	21.34
5	5.00	14.59	23.00	14.30	22.55
6	6.00	16.05	27.00	15.83	26.63
7	7.00	17.09	28.50	16.92	28.21
8	8.00	18.96	30.50	18.82	30.26
9	9.00	20.55	34.50	20.42	34.29
10	10.00	22.35	38.00	22.24	37.81
11	11.00	22.87	40.00	22.77	39.84
12	12.00	24.07	42.50	23.99	42.35
13	13.00	25.27	45.43	25.20	45.29
14	14.00	26.47	48.50	26.40	48.38
15	15.00	27.72	50.00	27.65	49.89
16	16.00	29.38	52.50	29.33	52.40
17	17.00	30.63	54.00	30.58	53.91
18	18.00	32.32	56.00	32.27	55.91
19	19.00	33.97	57.50	33.92	57.42
20	20.00	34.38	60.00	34.34	59.93
21	21.00	35.01	62.00	34.97	61.93
22	22.00	36.26	63.00	36.22	62.94
23	23.00	36.88	66.00	36.85	65.94
24	24.00	37.65	67.50	37.61	67.44
25	25.00	38.93	70.00	38.90	69.94
26	26.00	39.57	71.00	39.55	70.95
27	27.00	40.77	73.00	40.74	72.95
28	28.00	41.23	74.50	41.20	74.45
29	29.00	41.87	76.50	41.85	76.45
30	30.00	42.24	77.50	42.21	77.46

Tabella 2: tempi corretti secondo lo schema riportato in Figura 1

Calcolati i tempi corretti per le onde P ed S, è stato realizzato il grafico tempo/profondità ed individuati i tratti a velocità omogenea (dromocrone) (Figura 2). La velocità media delle onde sismiche, relativa a strati omogenei di terreno, è rappresentata dalla pendenza dei segmenti di retta che meglio interpolano i punti sperimentali. In Figura 2 vengono riportate le dromocrone e i relativi sismostrati individuati.



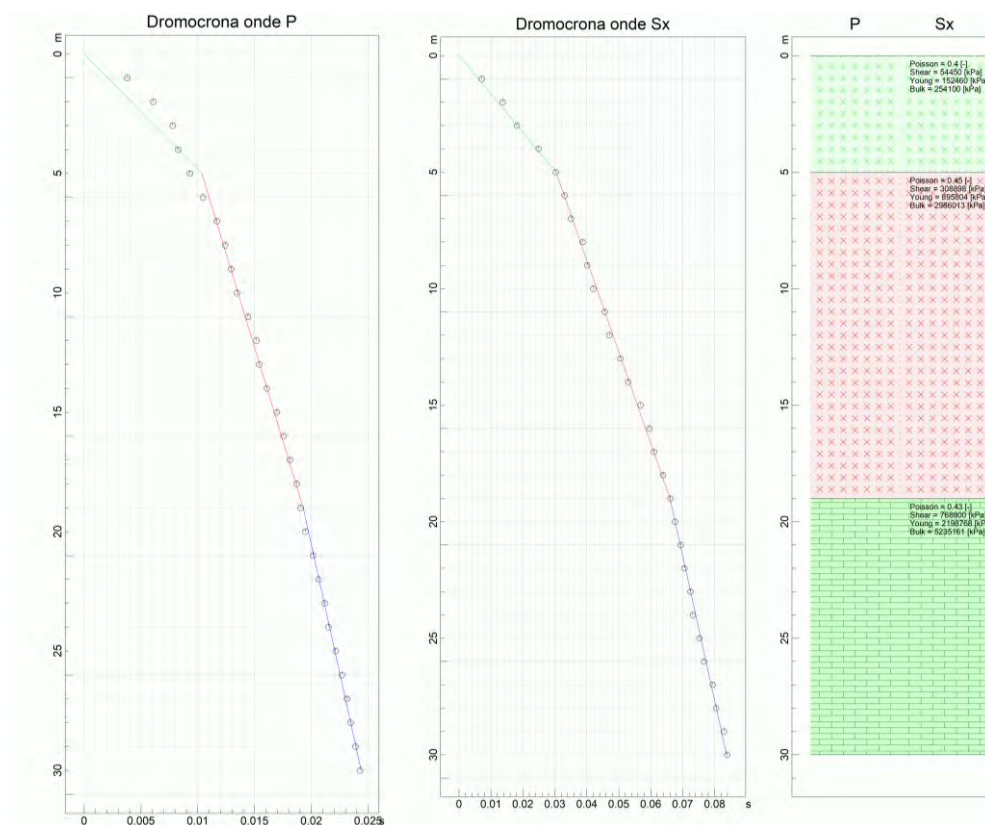


Figura 2: Dromocrone delle onde P ed S e relativi sismostrati

Nelle seguenti tabelle vengono riportati i parametri sismici ed elastici relativi agli strati individuati.

VELOCITA' ONDE P

Strato	Profondità [m]	Velocità [m/s]
1	3	257
2	19	728
3	30	1210

PARAMETRI ONDE SX

Strato	Profondità [m]	Velocità [m/s]	Poisson [-]	Shear [kPa]	Young [kPa]	Bulk [kPa]
1	3	162	0.12	52488.0	117573	51567.0
2	19	394	0.24	310472	769970	493570
3	30	586	0.30	686792	1785659	1488049.0

Ai sensi del DM 17 gennaio 2018, si riporta il valore della  $V_{s,eq}$  (con  $H=30m$ ) riferito all'attuale piano campagna.

Prof. (m)	$V_{s,eq}$ (m/s)
0-30	385

## Conclusioni

L'indagine sismica (DOWN-HOLE) ha consentito di determinare il profilo verticale della Vs e, di conseguenza, del parametro Vs,eq come riportato nelle precedenti tabelle.

In riferimento alla Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni si riportano le categorie di sottosuolo di riferimento distinte in funzione del parametro Vs,eq\* (Tabella 3).

Tabella 3: Categorie di sottosuolo (Tabella 3.2.II NTC 2018)

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

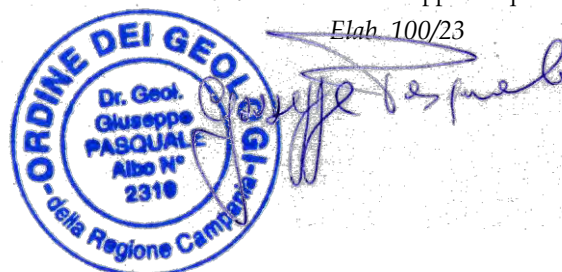
Il direttore del laboratorio  
Dott. Geol. Umberto Lonardo



**GEO-TECNICA**  
INDAGINI GEOGNOSTICHE - GEOTECNICA - SISMICA  
Z.I. Ponte Valentino - 82100 BENEVENTO  
www.geo-tecnica.it

Lo sperimentatore incaricato  
Dott. Geol. Giuseppe Pasquale

Elab. 100/23



\* La classificazione del terreno è di pertinenza dell'utente che ne deve valutare la tipologia sulla base della normativa vigente (NTC 2018) tenendo conto della locale successione stratigrafica. Si ricorda che per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio Vs,eq è definita dal parametro Vs,30, ottenuto ponendo H=30 m nella espressione [3.2.1] del § 3.2.2 NTC 2018 e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.





Accettazione n°1958

del 23 giugno 2023

Rapporti di prova n°876 e n° 916 anno 2023



**RICHIEDENTE:**  
**Dott. Geol. Nazario DI LELLA**

**COMMITTENTE:**  
**IVPC SRL**

**PROGETTO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO IN  
PROVINCIA DI BENEVENTO DA 146,40 MW SU 24  
AEROGENERATORI**

Coord. UTM Long. 497370 Lat 4572721 F 03 p.Ile 67 e 275  
SGM 05 - Comune di San Giorgio La Molara (BN)



**Committente:** IVPC srl  
**Richiedente:** dott. geol. Nazario Di Lella  
**Progetto:** Progetto di rifacimento di un parco eolico in provincia di Benevento pari a 146,40 MW su 24 aerogeneratori  
**Località:** F.3 p.lle 67 e 275  
**Comune:** San Giorgio La Molara (BN)

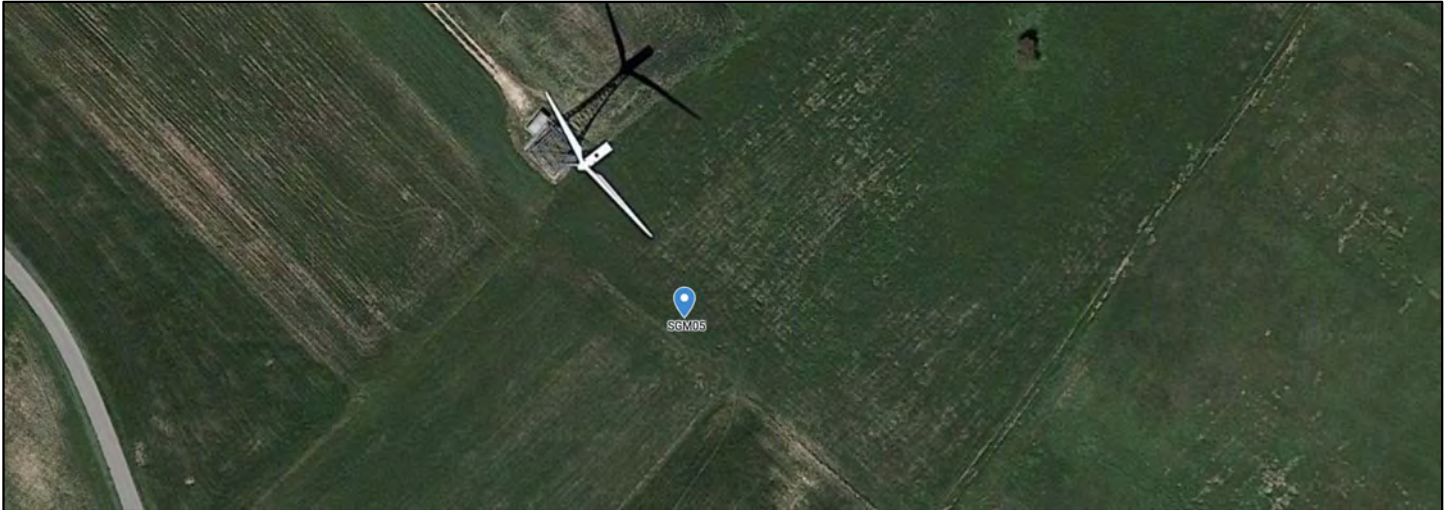
## INDAGINI IN SITO

### PROVE ESEGUITE

- Sondaggio geognostico SGM 05 a mt 30,0 rapp. di prova 876/23
- Prova sismica in foro del tipo Down-hole DH5 rapp di prova 916/23

Ministero II e TT per prove su Terre e Rocce n° 99 del 19/3/2018 e succ. aut.

### STRALCIO CON UBICAZIONE DELLE PROVE



### DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA

#### CAROTAGGIO CONTINUO

Tutte le indagini eseguite sono state effettuate a carotaggio continuo con il prelievo della carota disposta in apposite cassette catalogatrici. Il carotaggio è stato eseguito a secco, nei terreni più sciolti e con circolazione di fluido in quelli di natura litoide. L'espulsione della carota è stata effettuata o con spinta idraulica (acqua) o in caso di materiale litoide tramite martellamento del carotiere, il tutto raccolto in contenitore adatto e riposto, secondo la profondità, nelle apposite cassette. La strumentazione utilizzata per le indagini è la seguente: Sonda perforatrice a rotazione di marca Trivel MAc modello TM10FM, anno di produzione 2014, peso circa 10000 kg, coppia massima di rotazione 1000 kgm, velocità di rotazione massima 450 g/min; corsa di 3300 mm, Aste lunghezza 1500 mm diametro 76 mm spessore 6,6 mm, Carotiere di tipo semplice diametro 101 lunghezza 3000 mm e corona con denti in widia, Pompa fanghi del tipo a vite con pressione massima di esercizio di 30 bar

#### PRELIEVO DEI CAMPIONI INDISTURBATI

Raggiunta la profondità desiderata con la perforazione si è proceduti alla manovra di pulizia del foro mediante lavaggio con acqua pulita tale da rimuovere dal fondo del foro eventuale fango e detriti lasciati dalla manovra precedente. Il prelievo dei campioni è stato eseguito, a seconda del grado di consistenza del terreno, con un campionatore a pressione di tipo shelby con fustella a pareti sottili, nei terreni meno consistenti e con un campionatore rotativo denominato "Drill" nei terreni consistenti, litoidi e semilitoidi. Tale campionatore, che viene usato con circolazione di fluido, è costituito da una parte esterna con corona sottile al widia che esegue il taglio del terreno e da una fustella interna in acciaio collegata tramite una testa libera che permette alla fustella di inserirsi nel terreno senza ruotare. Il campione indisturbato, prelevato nella fustella, è stato regolarmente paraffinato e contrassegnato con i dati relativi al sondaggio, alla profondità e alla data di prelievo.

#### STANDARD PENETRATION TEST

La prova SPT si esegue durante la perforazione. Consiste nel registrare il numero di colpi necessari per far penetrare di 45 cm nel terreno a fondo foro un tubo campionatore di dimensioni standard, collegato alla superficie mediante batteria di aste in testa sulle quali agisce un maglio del peso di 63,5 kg che cade liberamente da un'altezza di 0,75 m.

Durante la prova si misura:

N 1= numero di colpi di maglio necessari a provocare l'avanzamento del campionatore per i primi 15 cm

N 2= numero di colpi che provoca la penetrazione del campionatore nei successivi 15 cm;

N 3= numero di colpi necessari per gli ultimi 15 cm di avanzamento.

Si assume come resistenza alla penetrazione il valore:  $NSPT = N2 + N3$

Si utilizzano le seguenti attrezzature standard:

Aste d'infissione del diametro esterno 50 mm e peso di 7 kg/m; Testa di battuta di acciaio avvitata sulle aste; Maglio di acciaio di 63,5 kg; Dispositivo automatico che consente la caduta del maglio da un'altezza di 0,76 m; Centratore di guida per le aste fra la testa di battuta e il piano campagna; Campionatore standard (detto Raymond dalla società che lo ha introdotto per prima). Si tratta di un tubo carotiere avente diametro esterno di 51 mm, spessore 16 mm e lunghezza complessiva comprendente scarpa e raccordo alle aste di 813 mm. Nei terreni ghiaiosi la scarpa del carotiere viene sostituita da una punta conica di diametro 51 mm e angolo 60°. Il campionatore Raymond consta di un tubo diviso longitudinalmente a metà, i due semitubi sono tenuti insieme, durante l'infissione, da una scarpa tagliente avvitata alla base e da un anello in testa. Alla fine della prova si svita la scarpa, il carotiere si apre in due permettendo di estrarre il campione

**Profondità:** 30,00 mt **Cassette:** n°6 **Quota p.c. data esecuzione:** da 7/7/2023 al 7/7/2023 **Attrezzatura:** Trivel Mac TM10  
**Tipo carotaggio:** continuo Ø 101 mm **Tipo carotiere:** semplice **Rivestimento:** Ø 127 mm a mt 1,5 **Operatore:** Giuseppe Giglio

**Condizionamento foro e note:**

Foro condizionato con tubo in pvc per prova down-hole in foro

1,0 C1 A Campioni rimaneggiati ad uso ambientale A, (1,0 = profondità e C1 = n° campione)

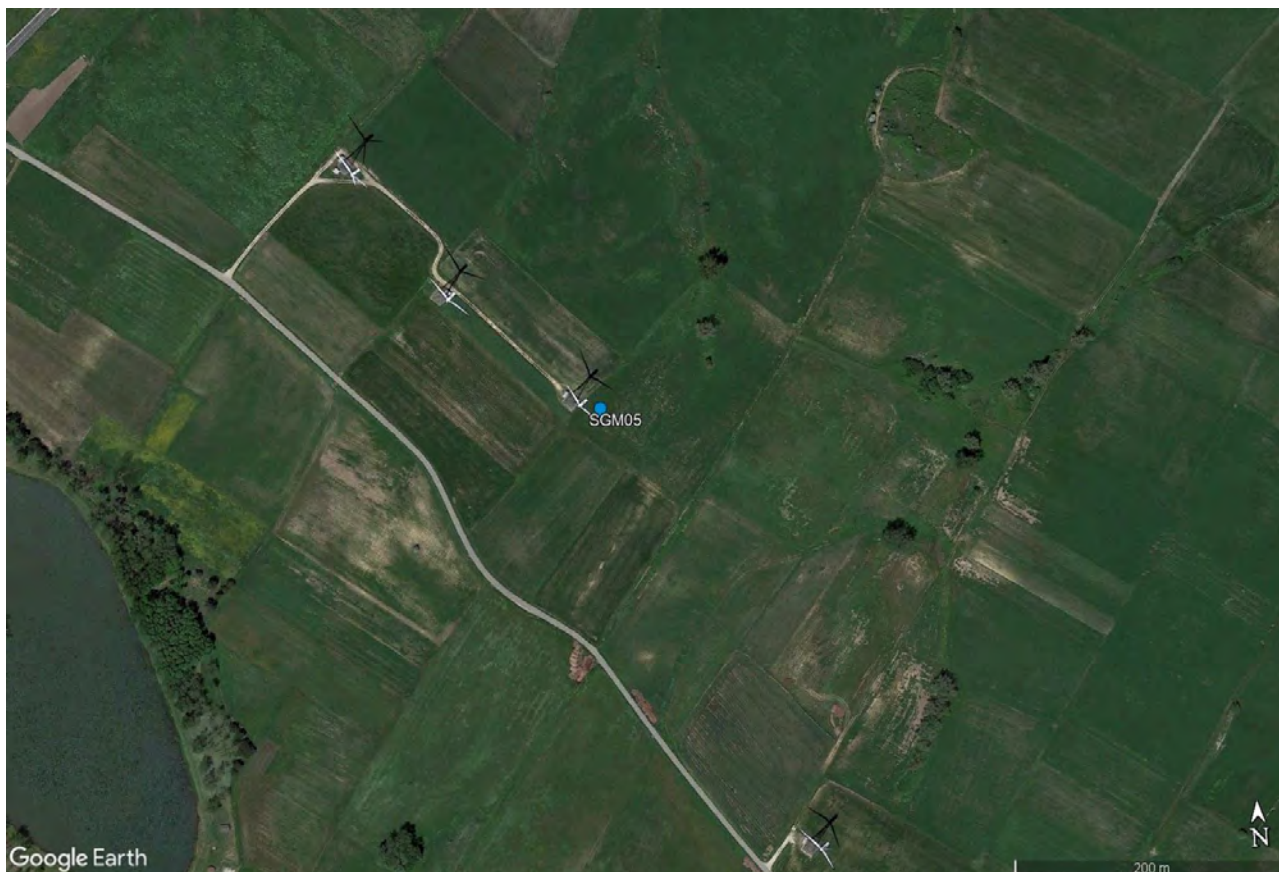
Scala 1:150

Profondità metri	Spess. metri	SIMBOLO	DESCRIZIONE LITOLOGICA	% Carot 25 50 75	Camp. S=shelby O=Osterberg M=Mazier	Tubo Dow-hole	H <sub>2</sub> O	SPT A= punta aperta C=punta chiusa	Nspt
1	0,5		Limo sabbioso fortemente rimaneggiato, terreno vegetale						
2	2,0		Limo debolmente sabbioso ed argilloso di colore variegato bande verdastre e ocracee-giallastre passante a prevalentemente ocracee.		0,2 C1A				
3									
4	4,1		Limo sabbioso e debolmente sabbioso di colore dal giallastro al rossastro chiaro, alla base diventa debolmente argilloso		3,5 C1 S 4,0				
5									
6			Sabbia limosa di colore giallastro-avana, rari inclusi litoidi centimetrici con livelli sabbiosi a 4,5 e 4,9. Tra 5 e 6 metri la sabbia e di dimesnioni medio-grossolana e alla base diventa limosa. Addensata.						
7	6,7							A Mt 6,5 (33-46-Rif)	Rif
8	7,4		Sabbia e ghiaia minuta rossastra variamente cementata in spessori di 10 cm.						
9									
10			Limo debolmente sabbioso ed argilloso a bande rossastre e verdastre, abbastanza consistente. Presenza di livelli sabbiosi centimetrici a 8,2 e 9,8 metri.		10,0 C2 S 10,5				
11	11,0								
12	11,8		Limo sabbioso e sabbia limosa di colore rossastro-giallastro con qualche livello debolmente cementato ma intensamente fratturato (bocchetti centimetrici) alla base						
13			Limo debolmente sabbioso di colore variegato dal verdastro al rossastro addensato						
14	13,6							A Mt 13,0 (37-47-Rif)	Rif
15	14,0		Sabbia di colore verdastro con sfumature rossastre, leggermente umida.						
16	14,5		Limo debolmente argilloso di colore rossastro variegato verdastro compatto.		14,8 C2A				
17									
18			Limo sabbioso giallo avana con intercalazioni limoso argilloso grigiastre e rossastre, presenza di inclusi litoidi prevalentemente arenacei e calcarenitici centimetrici.						
19									
20	20,4							C Mt 19,0 (38-49-Rif)	Rif
21									
22									
23			Limo debolmente argillsoo di colore avana con sfumature grigiastre e rossastre, preesenza di qualche sporadico clasto centimetrico e millimetrico. Compatto.						
24									
25	25,0				24,5 C3 M 25,0				
26									
27			Sabbia e limo con ghiaia eterometrica minore di 10 cm, i clasti a spigoli vivi in matrice limoso sabbiosa avana. Il materiale è compatto è molto probabile la circolazione idrica.						
28									
29									
30	29,7				29,6 C3 A				
31	30,0	Fine Foro	Limo debolmente argilloso di colore rossastro						
32									
33									



## INDAGINE SISMICA DOWN-HOLE DH5

### Ubicazione



### Normativa di riferimento

I disastrosi terremoti che negli ultimi anni hanno interessato l'Italia hanno determinato una riclassificazione sismica del territorio nazionale e una rivisitazione della normativa sismica che regola le costruzioni ricadenti in zone sismiche. Le Nuove Norme Tecniche sulle Costruzioni (NTC 17 gennaio 2018<sup>1</sup>), la normativa tecnica europea (Eurocodici EC7<sup>2</sup> e EC8<sup>3</sup>) e le più avanzate normative internazionali<sup>4</sup> disciplinano la progettazione e la costruzione di nuovi edifici soggetti ad azioni sismiche e la valutazione della sicurezza e degli interventi di adeguamento su edifici soggetti al medesimo tipo di azioni. Tali norme hanno lo scopo di assicurare che in caso di evento sismico sia protetta la vita umana, siano limitati i danni e rimangano funzionanti le strutture essenziali agli interventi di protezione civile. Fra le novità più importanti della nuova normativa tecnica in materia di progettazione antisismica vi è l'estensione della zonazione sismica a tutto il territorio nazionale.

La necessità di investigare il sottosuolo ha indirizzato i ricercatori a studiare tecniche non invasive, e quindi economiche, veloci e pratiche, per effettuare caratterizzazioni sismostratigrafiche del sottosuolo. Per ottemperare a quanto prescritto dalla normativa vigente è necessario determinare le azioni sismiche previste su nuove costruzioni, ampliamenti e ristrutturazioni importanti che ricadono in zona sismica, attraverso la determinazione della  $V_{s,eq}$  in m/s (velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio). A tale parametro vengono attribuiti intervalli di variazione a cui corrispondono differenti categorie di sottosuolo (§ 3.2.2 NTC 2018). Il parametro  $V_{s,eq}$  è calcolato mediante la seguente espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}} \text{ .m/s]$$

<sup>1</sup> Decreto del Ministero delle Infrastrutture 17 gennaio 2018, pubblicato sul supplemento ordinario n. 42 del 20 febbraio 2018

<sup>2</sup> CEN 1994, Geotechnical Design, General Rules, European Committee for Standardisation (CEN), Eurocode 7 Part 1.

<sup>3</sup> CEN 2003, Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, Final Draft, prEN 1998-1, Brussels;

<sup>4</sup> CEN 2004, Design of structures for earthquake resistance - Part 3: Assessment and retrofitting for buildings, Draft No 7, prEN 1998-3, Brussels.

<sup>5</sup> Applied Technology Council, 1996, Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Volume 1, California;

ACI 318, Building Code Requirements for Reinforced Concrete and Commentary, American Concrete Institute, Michigan, 2000;

Standards New Zealand, The design of concrete structures, NZS 3101, Wellington, 1995;

Canada Standards, The design of concrete structures, CSA-A23.3-04, Canada, 2005.

**Accettazione n° 1958 del 23.06.2023**

**Richiedente:** Dott. Geol. Nazario Di Lella

**Committente:** IVPC srl

**Progetto:** progetto di rifacimento di un parco eolico in provincia di Benevento pari a 146,40MW su 24 aerogeneratori

**Località** F.3 p.lle 67, 275 -Comune di San Giorgio La Molara (BN)

**Data esecuzione:** 27.07.2023

**Rapporto di prova:** n° 916 del 27.07.2023

dove:

Vs,i: velocità delle onde di taglio nell' i-esimo strato

hi: spessore in metri dello strato i-esimo

N: numero di strati

H: profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione. Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio Vs,eq è definita dal parametro Vs,30, ottenuto ponendo H=30 m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

La determinazione della Vs,eq avviene attraverso specifiche indagini geofisiche che si basano sulla propagazione delle onde sismiche nel sottosuolo.

In generale, le indagini sismiche si dividono in attive e passive. Le prime consistono nella generazione di onde sismiche che si propagano nel sottosuolo in seguito ad una energizzazione, che avviene tramite massa battente o scoppio, in un punto sorgente. Le onde generate vengono successivamente registrate da geofoni, rilevatori del moto del suolo, disposti lungo una linea sismica. Le indagini sismiche passive, invece, sono caratterizzate dalla registrazione del rumore sismico generato da sorgenti naturali e/o artificiali (rumore antropico).

#### Indagine sismica con tecnica "Down-Hole"

L'indagine sismica in foro di tipo down-hole viene effettuata mediante l'utilizzo di una sorgente energizzante in superficie ed una sonda di ricezione in configurazione triassiale calata in foro. La sonda di ricezione triassiale è costituita da tre geofoni (uno verticale e due orizzontali posti ortogonalmente tra di loro). Uno specifico sistema di tipo meccanico permette alla sonda di ancorarsi alle pareti del foro alle profondità stabilite. Il geofono verticale registra l'arrivo delle onde P, mentre i due geofoni orizzontali registrano l'arrivo delle onde S. Nella tecnica down-hole un sismografo registra il treno d'onda generato dalla sorgente ed arrivato al ricevitore calato in foro; ne risulta un sismogramma nel quale si possono individuare i tempi di arrivo delle onde dirette (onde P) e di taglio (onde S), a seconda di come viene direzionata l'energizzazione e del ricevitore utilizzato. Dal risultante tempo di arrivo delle onde sismiche tramite il percorso diretto tra sorgente e ricevitore si può risalire alle velocità sismiche P ed S per quanto riguarda il terreno indagato, sino alla profondità raggiunta dalla sonda triassiale ( $\text{Velocità sismica [m/s]} = \text{distanza sorgente-ricevitore [m]} / \text{tempo di percorrenza [millisecondi]}$ ). La sorgente energizzante è costituita da una massa battente di 8 kg. Per la generazione delle onde P viene effettuata un'energizzazione verticale su piastra mentre per la generazione delle onde S l'energizzazione è orizzontale su un lato o entrambi i lati di una traversina di legno posta sotto le ruote di un automezzo, il cui peso ha il compito di rendere la stessa più solidale col terreno in modo da trasmettere al meglio le onde di taglio generate.

#### Strumentazione utilizzata per tecnica Down-Hole

L'indagine è stata condotta mediante l'utilizzo del sismografo GEA24 della PASI srl (via Galliari 5/E TORINO, con canali a 24 bit (con PC esterno) adatto a RIFRAZIONE, RIFLESSIONE SUPERFICIALE, ONDE DI SUPERFICIE (MASW, Re.Mi., Vs,eq, MAAM, ESAC, ecc.) HVSR/VIBRAZIONI, DOWNHOLE, CROSSHOLE, utilizzando un Geofono da foro 3D "GFA-50"

I segnali sismici acquisiti sono stati successivamente elaborati con un apposito programma INTERSISM della GeoSoft dell'ing. Giorgio Sciolto, per la determinazione della sismostratigrafia del sottosuolo.

Il direttore del laboratorio

Dott. Geol. Umberto Lonardo





INDAGINI GEOGNOSTICHE - GEOTECNICA - SISMICA

GEO-TECNICA SRL – Zona Industriale Ponte Valentino  
82100 Benevento www.geo-tecnica.it e-mail: informazioni@geo-tecnica.it

**Accettazione n° 1958 del 23.06.2023**

**Richiedente:** Dott. Geol. Nazario Di Lella

**Committente:** IVPC srl

**Progetto:** progetto di rifacimento di un parco eolico in provincia di Benevento pari a 146,40MW su 24 aerogeneratori

**Località** F.3 p.lle 67, 275 -Comune di San Giorgio La Molara (BN)

**Data esecuzione:** 27.07.2023

**Rapporto di prova:** n° 916 del 27.07.2023

## **Premessa**

Il sottoscritto dott. geol. Giuseppe Pasquale, iscritto all'Ordine dei Geologi della Regione Campania al n. 2319, veniva incaricato dalla GEO-TECNICA srl con sede alla Z.I. Ponte Valentino-Benevento di eseguire la caratterizzazione sismica nel Comune di San Giorgio La Molara (BN), Località F.3 p.lle 67, 275 per i lavori relativi a "progetto di rifacimento di un parco eolico in provincia di Benevento pari a 146,40MW su 24 aerogeneratori". La ditta committente è rappresentata dall' IVPC srl.

Obiettivo della presente relazione geofisica è quello di definire, all'interno del sondaggio geognostico SGM 05, secondo quanto previsto dalla normativa vigente in materia il parametro  $V_{s,eq}$  attraverso la stima delle velocità dei terreni con l'esecuzione di n. 1 prova sismica di tipo DOWN-HOLE mediante la caratterizzazione dinamica del sottosuolo con l'individuazione delle principali unità sismostratigrafiche e delle relative proprietà elastiche.

Di seguito vengono riportati i risultati delle elaborazioni dell'indagine eseguita.

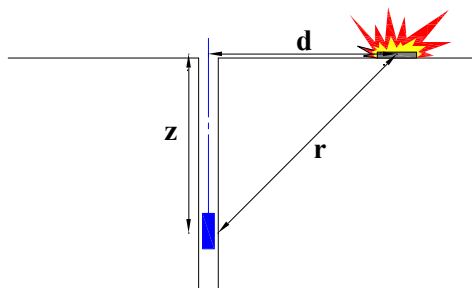
Prova sismica in foro tipo DOWN-HOLE DH5: rapporto di prova n. 916 del 27.07.2023

## Acquisizione ed elaborazione dei dati DH5

La prova sismica DH è stata eseguita all'interno del sondaggio geognostico SGM 05 opportunamente condizionato e per la registrazione delle onde sismiche è stato utilizzato un geofono tridimensionale da foro (o sonda geofonica). L'ancoraggio della sonda alla parete della tubazione (PVC  $\varnothing$  80 mm) è stato garantito da un pistone pneumatico azionato da un dispositivo ad aria compressa.

Per garantire la generazione degli impulsi P ed S è stata utilizzata, come fonte di energizzazione, una massa battente di 8 kg, e per ciascun punto di misura sono state effettuate 2 battute, una verticale e una orizzontale.

Nel caso in esame, la sorgente è stata posizionata ad una distanza di 1,00 m dal boccaforo (Tabella 1), per questo motivo nella fase di elaborazione dei dati è stata effettuata la correzione dei tempi. Se  $d$  è la distanza della sorgente dall'asse del foro (Figura 1),  $r$  la distanza fra la sorgente e il ricevitore,  $z$  la profondità di misura è possibile ottenere i tempi corretti ( $t_{corr}$ ) mediante la seguente formula di conversione:



$$t_{corr} = \frac{z}{r} t$$

Figura 1. Schema down-hole

## Tabella 1: Geometria di acquisizione

Distanza da boccaforo (m)	1,00
Profondità raggiunta (m)	30,0
Intervallo di misura (m)	1,0

Attraverso uno specifico software per l'elaborazione dei dati sismici in foro (INTERSISM) le tracce sismiche relative alle onde P ed S di ogni sismogramma sono state separate e raggruppate in seguito in tre files distinti (uno per le onde P e due per onde S) contenenti tutte le tracce P o S alle diverse profondità. Dei due sismogrammi S è stato scelto quello col dato migliore, ovvero quello che al momento dell'acquisizione in foro era

orientato nella posizione più favorevole. Successivamente si è proceduto alla lettura dei tempi di arrivo.

Nella Tabella 2 vengono riportati i tempi corretti.

N° Geof.	Profondità [m]	Onde P [ms]	Onde S (X) [ms]	Onde P (corretti) [ms]	Onde S (X) (corretti) [ms]
1	1.00	3.37	6.16	2.39	4.35
2	2.00	4.60	10.87	4.11	9.72
3	3.00	5.98	15.94	5.67	15.12
4	4.00	6.59	21.37	6.40	20.74
5	5.00	7.05	26.08	6.92	25.58
6	6.00	8.28	28.98	8.17	28.59
7	7.00	9.20	31.16	9.11	30.84
8	8.00	9.66	31.52	9.59	31.27
9	9.00	10.89	35.14	10.82	34.93
10	10.00	12.11	38.04	12.05	37.85
11	11.00	13.03	40.58	12.98	40.41
12	12.00	14.57	43.11	14.52	42.96
13	13.00	15.79	45.65	15.75	45.51
14	14.00	16.87	46.73	16.82	46.62
15	15.00	17.94	49.23	17.90	49.12
16	16.00	19.01	51.82	18.98	51.72
17	17.00	19.93	54.04	19.90	53.95
18	18.00	20.55	56.63	20.52	56.54
19	19.00	21.16	58.48	21.13	58.40
20	20.00	22.08	61.26	22.05	61.18
21	21.00	22.85	63.11	22.82	63.04
22	22.00	23.61	64.03	23.59	63.97
23	23.00	24.99	66.07	24.97	66.01
24	24.00	25.91	67.55	25.89	67.49
25	25.00	26.65	69.22	26.63	69.16
26	26.00	27.18	71.25	27.16	71.20
27	27.00	27.98	72.73	27.96	72.68
28	28.00	28.92	74.40	28.90	74.35
29	29.00	29.32	76.43	29.30	76.39
30	30.00	29.85	77.73	29.84	77.69

**Tabella 2: tempi corretti secondo lo schema riportato in Figura 1**

Calcolati i tempi corretti per le onde P ed S, è stato realizzato il grafico tempo/profondità ed individuati i tratti a velocità omogenea (dromocrone) (Figura 2). La velocità media delle onde sismiche, relativa a strati omogenei di terreno, è rappresentata dalla pendenza dei segmenti di retta che meglio interpolano i punti sperimentali. In Figura 2 vengono riportate le dromocrone e i relativi sismostrati individuati.



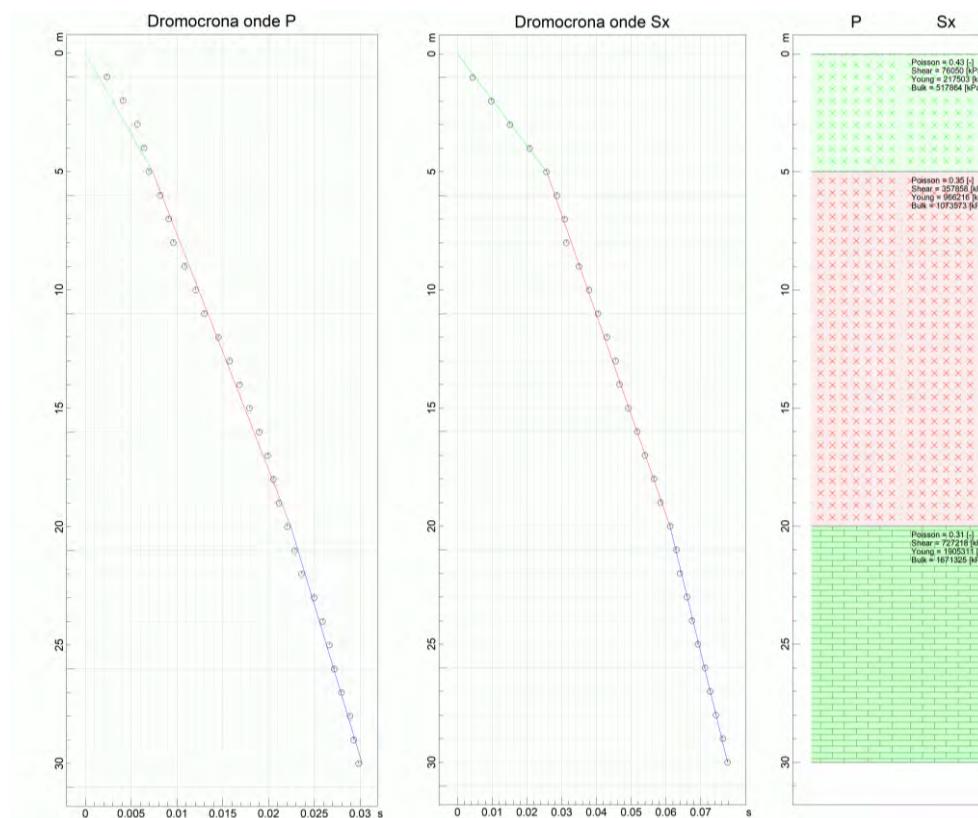


Figura 2: Dromocrone delle onde P ed S e relativi sismostrati

Nelle seguenti tabelle vengono riportati i parametri sismici ed elastici relativi agli strati individuati.

VELOCITA' ONDE P

Strato	Profondità [m]	Velocità [m/s]
1	5	682
2	20	993
3	30	1284

PARAMETRI ONDE SX

Strato	Profondità [m]	Velocità [m/s]	Poisson [-]	Shear [kPa]	Young [kPa]	Bulk [kPa]
1	5	195	0.43	76050.0	217503	517864
2	20	423	0.35	357858..	966216	1073573
3	30	603	0.31	727218..	1905311	1671325

Ai sensi del DM 17 gennaio 2018, si riporta il valore della  $V_{s,eq}$  (con  $H=30m$ ) riferito all'attuale piano campagna.

Prof. (m)	$V_{s,eq}$ (m/s)
0-30	387

## Conclusioni

L'indagine sismica (DOWN-HOLE) ha consentito di determinare il profilo verticale della Vs e, di conseguenza, del parametro Vs,eq come riportato nelle precedenti tabelle.

In riferimento alla Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni si riportano le categorie di sottosuolo di riferimento distinte in funzione del parametro Vs,eq\* (Tabella 3).

Tabella 3: Categorie di sottosuolo (Tabella 3.2.II NTC 2018)

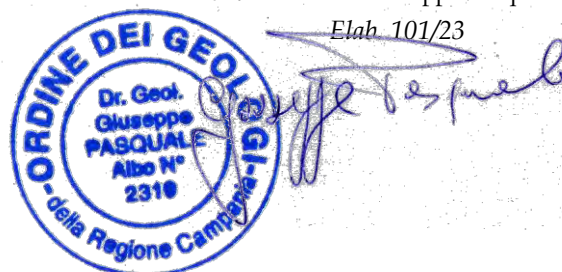
Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Il direttore del laboratorio  
Dott. Geol. Umberto Lonardo



Lo sperimentatore incaricato  
Dott. Geol. Giuseppe Pasquale

Elab. 101/23



\* La classificazione del terreno è di pertinenza dell'utente che ne deve valutare la tipologia sulla base della normativa vigente (NTC 2018) tenendo conto della locale successione stratigrafica. Si ricorda che per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio Vs,eq è definita dal parametro Vs,30, ottenuto ponendo H=30 m nella espressione [3.2.1] del § 3.2.2 NTC 2018 e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.





Accettazione n°1959

del 23 giugno 2023

Rapporto di prova n°877 e n°915 anno 2023



RICHIEDENTE:  
**Dott. Geol. Nazario DI LELLA**

COMMITTENTE:  
**IVPC SRL**

**PROGETTO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO IN  
PROVINCIA DI BENEVENTO DA 146,40 MW SU 24  
AEROGENERATORI**

Coord. UTM Long. 496629 Lat 4572298 F 03 p.IIa 180  
**SGM 06 - Comune di San Giorgio La Molara (BN)**

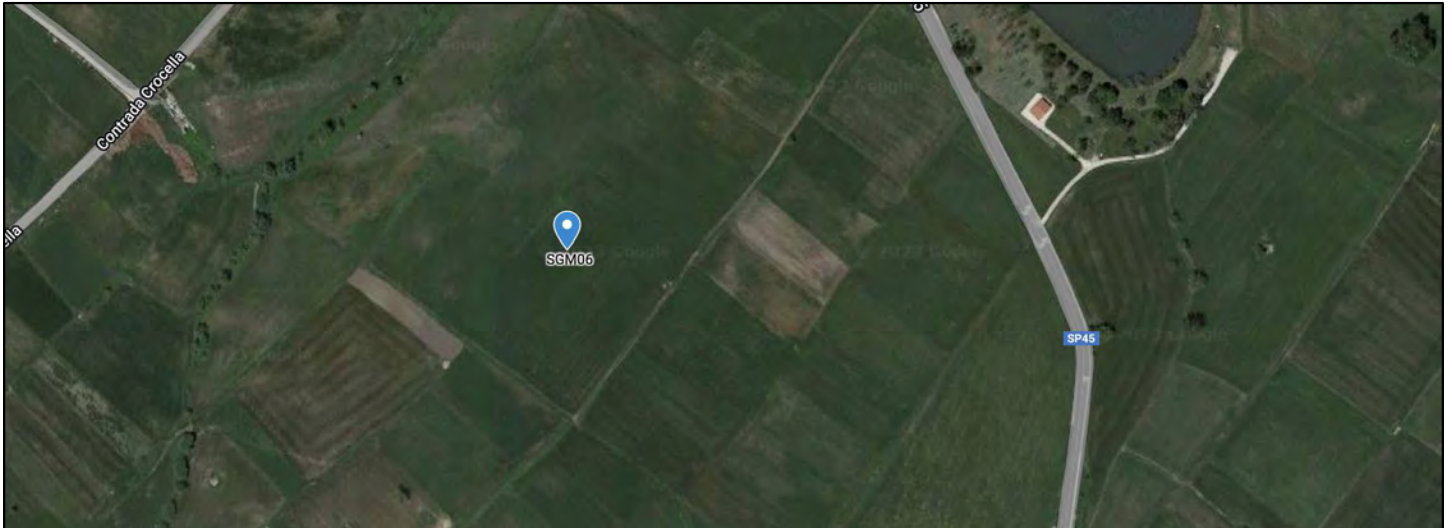


## INDAGINI IN SITO

### PROVE ESEGUITE

- Sondaggio geognostico SGM 06 a mt 30,0 rapp. di prova 877/23
- Prova sismica in foro del tipo Down-hole DH6 rapp. di prova 915/23

### STRALCIO CON UBICAZIONE DELLE PROVE



### DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA

#### CAROTAGGIO CONTINUO

Tutte le indagini eseguite sono state effettuate a carotaggio continuo con il prelievo della carota disposta in apposite cassette catalogatrici. Il carotaggio è stato eseguito a secco, nei terreni più sciolti e con circolazione di fluido in quelli di natura litoide. L'espulsione della carota è stata effettuata o con spinta idraulica (acqua) o in caso di materiale litoide tramite martellamento del carotiere, il tutto raccolto in contenitore adatto e riposto, secondo la profondità, nelle apposite cassette. La strumentazione utilizzata per le indagini è la seguente: Sonda perforatrice a rotazione di marca Trivel MAc modello TM10FM, anno di produzione 2014, peso circa 10000 kg, coppia massima di rotazione 1000 kgm, velocità di rotazione massima 450 g/min; corsa di 3300 mm, Aste lunghezza 1500 mm diametro 76 mm spessore 6,6 mm, Carotiere di tipo semplice diametro 101 lunghezza 3000 mm e corona con denti in widia, Pompa fanghi del tipo a vite con pressione massima di esercizio di 30 bar

#### PRELIEVO DEI CAMPIONI INDISTURBATI

Raggiunta la profondità desiderata con la perforazione si è proceduti alla manovra di pulizia del foro mediante lavaggio con acqua pulita tale da rimuovere dal fondo del foro eventuale fango e detriti lasciati dalla manovra precedente. Il prelievo dei campioni è stato eseguito, a seconda del grado di consistenza del terreno, con un campionatore a pressione di tipo shelby con fustella a pareti sottili, nei terreni meno consistenti e con un campionatore rotativo denominato "Drill" nei terreni consistenti, litoidi e semilitoidi. Tale campionatore, che viene usato con circolazione di fluido, è costituito da una parte esterna con corona sottile al widia che esegue il taglio del terreno e da una fustella interna in acciaio collegata tramite una testa libera che permette alla fustella di inserirsi nel terreno senza ruotare. Il campione indisturbato, prelevato nella fustella, è stato regolarmente paraffinato e contrassegnato con i dati relativi al sondaggio, alla profondità e alla data di prelievo.

#### STANDARD PENETRATION TEST

La prova SPT si esegue durante la perforazione. Consiste nel registrare il numero di colpi necessari per far penetrare di 45 cm nel terreno a fondo foro un tubo campionatore di dimensioni standard, collegato alla superficie mediante batteria di aste in testa sulle quali agisce un maglio del peso di 63,5 kg che cade liberamente da un'altezza di 0,75 m.

Durante la prova si misura:

N 1= numero di colpi di maglio necessari a provocare l'avanzamento del campionatore per i primi 15 cm

N 2= numero di colpi che provoca la penetrazione del campionatore nei successivi 15 cm;

N 3= numero di colpi necessari per gli ultimi 15 cm di avanzamento.

Si assume come resistenza alla penetrazione il valore:  $NSPT = N2 + N3$

Si utilizzano le seguenti attrezzature standard:

Aste d'infissione del diametro esterno 50 mm e peso di 7 kg/m; Testa di battuta di acciaio avvitata sulle aste; Maglio di acciaio di 63,5 kg; Dispositivo automatico che consente la caduta del maglio da un'altezza di 0,76 m; Centratore di guida per le aste fra la testa di battuta e il piano campagna; Campionatore standard (detto Raymond dalla società che lo ha introdotto per prima). Si tratta di un tubo carotiere avente diametro esterno di 51 mm, spessore 16 mm e lunghezza complessiva comprendente scarpa e raccordo alle aste di 813 mm. Nei terreni ghiaiosi la scarpa del carotiere viene sostituita da una punta conica di diametro 51 mm e angolo 60°. Il campionatore Raymond consta di un tubo diviso longitudinalmente a metà, i due semitubi sono tenuti insieme, durante l'infissione, da una scarpa tagliente avvitata alla base e da un anello in testa. Alla fine della prova si svita la scarpa, il carotiere si apre in due permettendo di estrarre il campione

**Profondità:** 30,00 mt **Cassette:** n°6 **Quota p.c. data esecuzione:** da 10/7/2023 al 10/7/2023 **Attrezzatura:** Trivel Mac TM10  
**Tipo carotaggio:** continuo Ø 101 mm **Tipo carotiere:** semplice **Rivestimento:** Ø 127 mm a mt 1,5 **Operatore:** Giuseppe Giglio

**Condizionamento foro e note:**

Foro condizionato con tubo in pvc per prova down-hole in foro

1,0 C1 A Campioni rimaneggiati ad uso ambientale A, (1,0 = profondità e C1 = n° campione)

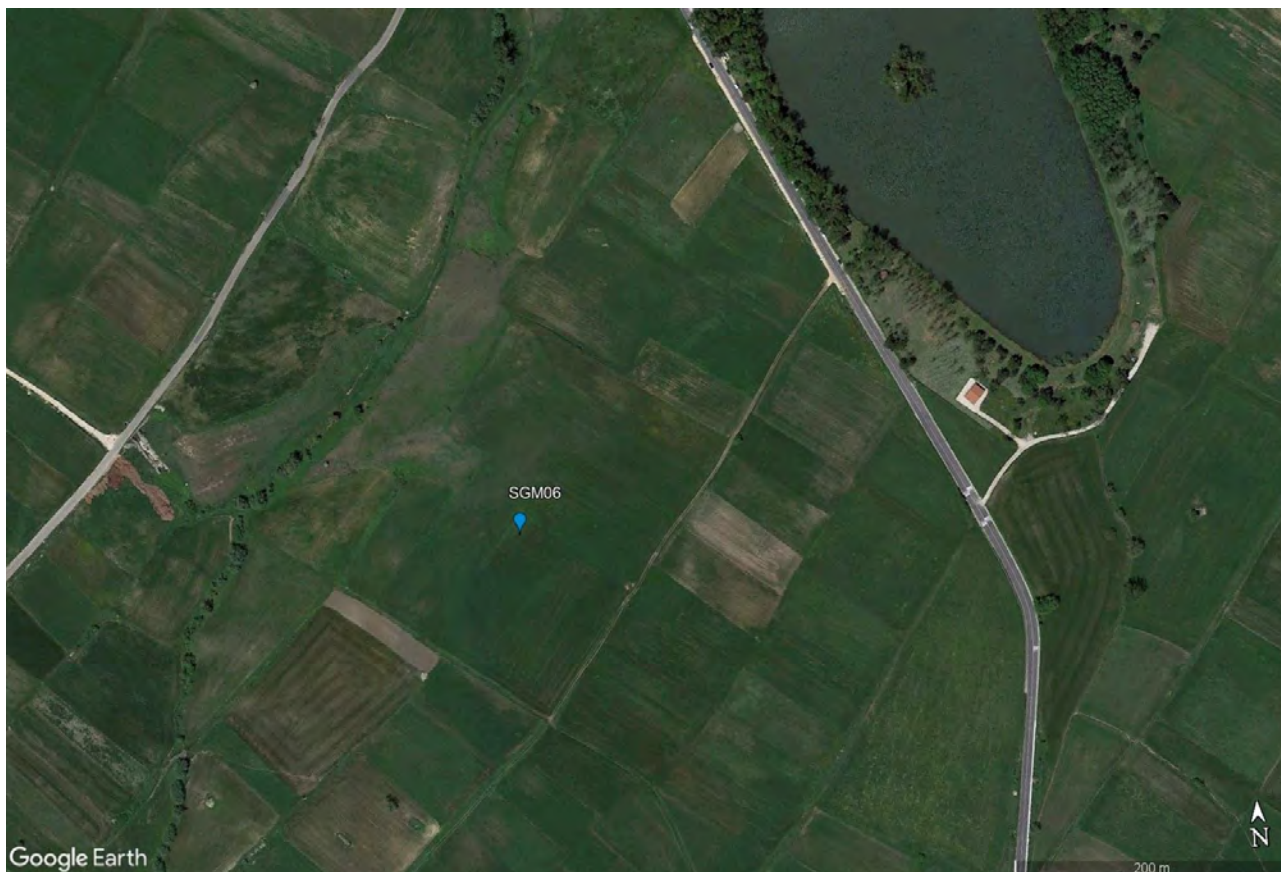
Scala 1:150

Profondità metri	Spess. metri	SIMBOLO	DESCRIZIONE LITOLOGICA	% Carot 25 50 75	Camp. S=shelby O=Osterberg M=Mazier	Tubo Down-hole	H <sub>2</sub> O	SPT A= punta aperta C=punta chiusa	Nspt
1	1,6		Limo debolmente argilloso di colore bruno molto plastico ed alterato. Terreno vegetale.		1,0 C1A				
2									
3			Limo debolmente sabbioso ed argilloso di colore giallastro, plastico con qualche piccolo clasto sparso incluso di natura calcarea. Presenza di un livello bruno plastico tra 2,2+2,4						
4	4,0	2,4							
5			Limo debolmente argilloso di colore giallastro da plastico a debolmente plastico con un livello posto a 7,7 di 10 cm di sabbia e ghiaietto fine. Alla base sfumature grigiastre.		5,0 C1 S				
6					5,5				
7									
8	8,7	4,7						A Mt 8,0 (7-10-12)	22
9			Sabbia debolmente limosa di colore giallastro addensata. Inclusi alcuni livelli o concrezioni sabbiose debolmente cementate o arenaria tenera molto fratturati, molto umido. Si scompagina dopo la perforazione.						
10	10,0	1,3							
	10,3	0,3							
11	10,5	0,2	Sabbia cementata e marna intensamente fratturata e scagliettata giallastra ocrea.		11,0 C2 S				
			Limo debolmente sabbioso alternato a sabbia debolmente limosa giallo-avana con clasto sabbioso arenaceo a 11,50 (arenaria fratturata e poco cementata)		11,5				
12	12,0	1,5							
13			Sabbia limosa di colore grigio con livelli limosi debolmente sabbiosi. Presenza di abbondanti clasti sub-allungati di arenaria e calcareniti (materiale scagliettato fratturato) con presenzadi clayti decimetrici a 13,0 mt e 14,3						
14									
15	14,7	2,7			15,0 C2A				
16									
17									
18			Limo sabbioso argilloso di colore grigio con incluso scaglie di materiali sabbioso-arenaceo-calcarenitico minuto. Compatto.		16,5 C3 M				
19					17,0				
20								C Mt 19,5 (32-37-43)	80
21									
22									
23	23,0	8,3							
24	23,7	0,7	Sabbia ed arenaria grigiastrea fratturata debolmente limosa, i clasti sono abbondanti clastii spigoli vivi.		24,5 C4 M				
25	25,0	1,4	Limo sabbioso argilloso di colore grigio con incluso scaglie di materiali sabbioso-arenaceo-calcarenitico minuto. Compatto.		25,0				
26	25,6	0,6	Sabbia ed arenaria grigiastrea fratturata debolmente limosa.						
27								C Mt 27,0 (43 Rifiuto)	80
28			Limo sabbioso argilloso di colore grigio con incluso scaglie di materiali sabbioso-arenaceo-calcarenitico minuto. Compatto. Prevalentemente sabbioso tra 27,0 e 29 metri con probabile circolazione idrica.						
29									
30	30,0	Fine Foro			29,6 C3 A				
31									
32									
33									



## INDAGINE SISMICA DOWN-HOLE DH6

### Ubicazione



### Normativa di riferimento

I disastrosi terremoti che negli ultimi anni hanno interessato l'Italia hanno determinato una riclassificazione sismica del territorio nazionale e una rivisitazione della normativa sismica che regola le costruzioni ricadenti in zone sismiche. Le Nuove Norme Tecniche sulle Costruzioni (NTC 17 gennaio 2018<sup>1</sup>), la normativa tecnica europea (Eurocodici EC7<sup>2</sup> e EC8<sup>3</sup>) e le più avanzate normative internazionali<sup>4</sup> disciplinano la progettazione e la costruzione di nuovi edifici soggetti ad azioni sismiche e la valutazione della sicurezza e degli interventi di adeguamento su edifici soggetti al medesimo tipo di azioni. Tali norme hanno lo scopo di assicurare che in caso di evento sismico sia protetta la vita umana, siano limitati i danni e rimangano funzionanti le strutture essenziali agli interventi di protezione civile. Fra le novità più importanti della nuova normativa tecnica in materia di progettazione antisismica vi è l'estensione della zonazione sismica a tutto il territorio nazionale.

La necessità di investigare il sottosuolo ha indirizzato i ricercatori a studiare tecniche non invasive, e quindi economiche, veloci e pratiche, per effettuare caratterizzazioni sismostratigrafiche del sottosuolo. Per ottemperare a quanto prescritto dalla normativa vigente è necessario determinare le azioni sismiche previste su nuove costruzioni, ampliamenti e ristrutturazioni importanti che ricadono in zona sismica, attraverso la determinazione della  $V_{s,eq}$  in m/s (velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio). A tale parametro vengono attribuiti intervalli di variazione a cui corrispondono differenti categorie di sottosuolo (§ 3.2.2 NTC 2018). Il parametro  $V_{s,eq}$  è calcolato mediante la seguente espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}} \text{ .m/s}]$$

<sup>1</sup> Decreto del Ministero delle Infrastrutture 17 gennaio 2018, pubblicato sul supplemento ordinario n. 42 del 20 febbraio 2018

<sup>2</sup> CEN 1994, Geotechnical Design, General Rules, European Committee for Standardisation (CEN), Eurocode 7 Part 1.

<sup>3</sup> CEN 2003, Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, Final Draft, prEN 1998-1, Brussels;

<sup>4</sup> CEN 2004, Design of structures for earthquake resistance - Part 3: Assessment and retrofitting for buildings, Draft No 7, prEN 1998-3, Brussels.

<sup>5</sup> Applied Technology Council, 1996, Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Volume 1, California;

ACI 318, Building Code Requirements for Reinforced Concrete and Commentary, American Concrete Institute, Michigan, 2000;

Standards New Zealand, The design of concrete structures, NZS 3101, Wellington, 1995;

Canada Standards, The design of concrete structures, CSA-A23.3-04, Canada, 2005.

**Accettazione n° 1959 del 23.06.2023**

**Richiedente:** Dott. Geol. Nazario Di Lella

**Committente:** IVPC srl

**Progetto:** progetto di rifacimento di un parco eolico in provincia di Benevento pari a 146,40MW su 24 aerogeneratori

**Località:** F.3 p.lla 180 -Comune di San Giorgio La Molara (BN)

**Data esecuzione:** 27.07.2023

**Rapporto di prova:** n° 915 del 27.07.2023

dove:

$V_{s,i}$ : velocità delle onde di taglio nell' i-esimo strato

$h_i$ : spessore in metri dello strato i-esimo

N: numero di strati

H: profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione. Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  è definita dal parametro  $V_{s,30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

La determinazione della  $V_{s,eq}$  avviene attraverso specifiche indagini geofisiche che si basano sulla propagazione delle onde sismiche nel sottosuolo.

In generale, le indagini sismiche si dividono in attive e passive. Le prime consistono nella generazione di onde sismiche che si propagano nel sottosuolo in seguito ad una energizzazione, che avviene tramite massa battente o scoppio, in un punto sorgente. Le onde generate vengono successivamente registrate da geofoni, rilevatori del moto del suolo, disposti lungo una linea sismica. Le indagini sismiche passive, invece, sono caratterizzate dalla registrazione del rumore sismico generato da sorgenti naturali e/o artificiali (rumore antropico).

#### Indagine sismica con tecnica "Down-Hole"

L'indagine sismica in foro di tipo down-hole viene effettuata mediante l'utilizzo di una sorgente energizzante in superficie ed una sonda di ricezione in configurazione triassiale calata in foro. La sonda di ricezione triassiale è costituita da tre geofoni (uno verticale e due orizzontali posti ortogonalmente tra di loro). Uno specifico sistema di tipo meccanico permette alla sonda di ancorarsi alle pareti del foro alle profondità stabilite. Il geofono verticale registra l'arrivo delle onde P, mentre i due geofoni orizzontali registrano l'arrivo delle onde S. Nella tecnica down-hole un sismografo registra il treno d'onda generato dalla sorgente ed arrivato al ricevitore calato in foro; ne risulta un sismogramma nel quale si possono individuare i tempi di arrivo delle onde dirette (onde P) e di taglio (onde S), a seconda di come viene direzionata l'energizzazione e del ricevitore utilizzato. Dal risultante tempo di arrivo delle onde sismiche tramite il percorso diretto tra sorgente e ricevitore si può risalire alle velocità sismiche P ed S per quanto riguarda il terreno indagato, sino alla profondità raggiunta dalla sonda triassiale ( $\text{Velocità sismica [m/s]} = \text{distanza sorgente-ricevitore [m]} / \text{tempo di percorrenza [millisecondi]}$ ). La sorgente energizzante è costituita da una massa battente di 8 kg. Per la generazione delle onde P viene effettuata un'energizzazione verticale su piastra mentre per la generazione delle onde S l'energizzazione è orizzontale su un lato o entrambi i lati di una traversina di legno posta sotto le ruote di un automezzo, il cui peso ha il compito di rendere la stessa più solidale col terreno in modo da trasmettere al meglio le onde di taglio generate.

#### Strumentazione utilizzata per tecnica Down-Hole

L'indagine è stata condotta mediante l'utilizzo del sismografo GEA24 della PASI srl (via Galliani 5/E TORINO, con canali a 24 bit (con PC esterno) adatto a RIFRAZIONE, RIFLESSIONE SUPERFICIALE, ONDE DI SUPERFICIE (MASW, Re.Mi.,  $V_{s,eq}$ , MAAM, ESAC, ecc.) HVSR/ VIBRAZIONI, DOWNHOLE, CROSSHOLE, utilizzando un Geofono da foro 3D "GFA-50"

I segnali sismici acquisiti sono stati successivamente elaborati con un apposito programma INTERSISM della GeoSoft dell'ing. Giorgio Scioldo, per la determinazione della sismostratigrafia del sottosuolo.

Il direttore del laboratorio

Dott. Geol. Umberto Lonardo





INDAGINI GEOGNOSTICHE - GEOTECNICA - SISMICA

GEO-TECNICA SRL – Zona Industriale Ponte Valentino  
82100 Benevento www.geo-tecnica.it e-mail: informazioni@geo-tecnica.it

**Accettazione n° 1959 del 23.06.2023**

**Richiedente:** Dott. Geol. Nazario Di Lella

**Committente:** IVPC srl

**Progetto:** progetto di rifacimento di un parco eolico in provincia di Benevento pari a 146,40MW su 24 aerogeneratori

**Località:** F.3 p.lla 180 -Comune di San Giorgio La Molarà (BN)

**Data esecuzione:** 27.07.2023

**Rapporto di prova:** n° 915 del 27.07.2023

## **Premessa**

Il sottoscritto dott. geol. Giuseppe Pasquale, iscritto all'Ordine dei Geologi della Regione Campania al n. 2319, veniva incaricato dalla GEO-TECNICA srl con sede alla Z.I. Ponte Valentino-Benevento di eseguire la caratterizzazione sismica nel Comune di San Giorgio La Molarà (BN), Località F.3 p.lla 180 per i lavori relativi a "progetto di rifacimento di un parco eolico in provincia di Benevento pari a 146,40MW su 24 aerogeneratori". La ditta committente è rappresentata dall' IVPC srl.

Obiettivo della presente relazione geofisica è quello di definire, all'interno del sondaggio geognostico SGM 06, secondo quanto previsto dalla normativa vigente in materia il parametro  $V_{s,eq}$  attraverso la stima delle velocità dei terreni con l'esecuzione di n. 1 prova sismica di tipo DOWN-HOLE mediante la caratterizzazione dinamica del sottosuolo con l'individuazione delle principali unità sismostratigrafiche e delle relative proprietà elastiche.

Di seguito vengono riportati i risultati delle elaborazioni dell'indagine eseguita.

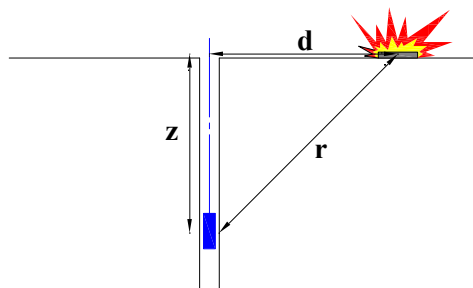
Prova sismica in foro tipo DOWN-HOLE DH6: rapporto di prova n. 915 del 27.07.2023

## Acquisizione ed elaborazione dei dati DH6

La prova sismica DH è stata eseguita all'interno del sondaggio geognostico SGM 06 opportunamente condizionato e per la registrazione delle onde sismiche è stato utilizzato un geofono tridimensionale da foro (o sonda geofonica). L'ancoraggio della sonda alla parete della tubazione (PVC  $\varnothing$  80 mm) è stato garantito da un pistone pneumatico azionato da un dispositivo ad aria compressa.

Per garantire la generazione degli impulsi P ed S è stata utilizzata, come fonte di energizzazione, una massa battente di 8 kg, e per ciascun punto di misura sono state effettuate 2 battute, una verticale e una orizzontale.

Nel caso in esame, la sorgente è stata posizionata ad una distanza di 1,30 m dal boccaforo (Tabella 1), per questo motivo nella fase di elaborazione dei dati è stata effettuata la correzione dei tempi. Se  $d$  è la distanza della sorgente dall'asse del foro (Figura 1),  $r$  la distanza fra la sorgente e il ricevitore,  $z$  la profondità di misura è possibile ottenere i tempi corretti ( $t_{corr}$ ) mediante la seguente formula di conversione:



$$t_{corr} = \frac{z}{r} t$$

Figura 1. Schema down-hole

## Tabella 1: Geometria di acquisizione

Distanza da boccaforo (m)	1,30
Profondità raggiunta (m)	30,0
Intervallo di misura (m)	1,0

Attraverso uno specifico software per l'elaborazione dei dati sismici in foro (INTERSISM) le tracce sismiche relative alle onde P ed S di ogni sismogramma sono state separate e raggruppate in seguito in tre files distinti (uno per le onde P e due per onde S) contenenti tutte le tracce P o S alle diverse profondità. Dei due sismogrammi S è stato scelto quello col dato migliore, ovvero quello che al momento dell'acquisizione in foro era

orientato nella posizione più favorevole. Successivamente si è proceduto alla lettura dei tempi di arrivo.

Nella Tabella 2 vengono riportati i tempi corretti.

N° Geof.	Profondità [m]	Onde P [ms]	Onde S (X) [ms]	Onde P (corretti) [ms]	Onde S (X) (corretti) [ms]
1	1.00	6.84	13.26	4.84	9.38
2	2.00	8.41	18.60	7.52	16.64
3	3.00	11.54	20.00	10.95	18.97
4	4.00	13.11	24.50	12.72	23.77
5	5.00	14.53	27.50	14.25	26.97
6	6.00	16.95	34.50	16.72	34.03
7	7.00	17.67	40.00	17.49	39.60
8	8.00	19.38	44.00	19.23	43.66
9	9.00	20.09	48.50	19.97	48.20
10	10.00	20.52	51.50	20.41	51.24
11	11.00	21.51	52.50	21.42	52.28
12	12.00	22.65	57.00	22.57	56.80
13	13.00	23.46	59.50	23.39	59.32
14	14.00	24.50	62.50	24.43	62.34
15	15.00	25.02	64.50	24.96	64.36
16	16.00	25.83	68.00	25.78	67.87
17	17.00	26.95	70.00	26.90	69.88
18	18.00	27.84	71.50	27.79	71.39
19	19.00	28.58	73.00	28.54	72.90
20	20.00	29.47	74.50	29.43	74.41
21	21.00	29.78	76.00	29.74	75.91
22	22.00	30.77	78.00	30.74	77.92
23	23.00	31.63	80.50	31.60	80.42
24	24.00	32.63	81.50	32.60	81.43
25	25.00	33.48	84.50	33.45	84.43
26	26.00	34.00	86.00	33.97	85.94
27	27.00	35.19	86.50	35.17	86.44
28	28.00	35.33	88.00	35.31	87.94
29	29.00	36.19	89.00	36.17	88.95
30	30.00	36.47	90.50	36.45	90.45

Tabella 2: tempi corretti secondo lo schema riportato in Figura 1

Calcolati i tempi corretti per le onde P ed S, è stato realizzato il grafico tempo/profondità ed individuati i tratti a velocità omogenea (dromocrone) (Figura 2). La velocità media delle onde sismiche, relativa a strati omogenei di terreno, è rappresentata dalla pendenza dei segmenti di retta che meglio interpolano i punti sperimentali. In Figura 2 vengono riportate le dromocrone e i relativi sismostrati individuati.



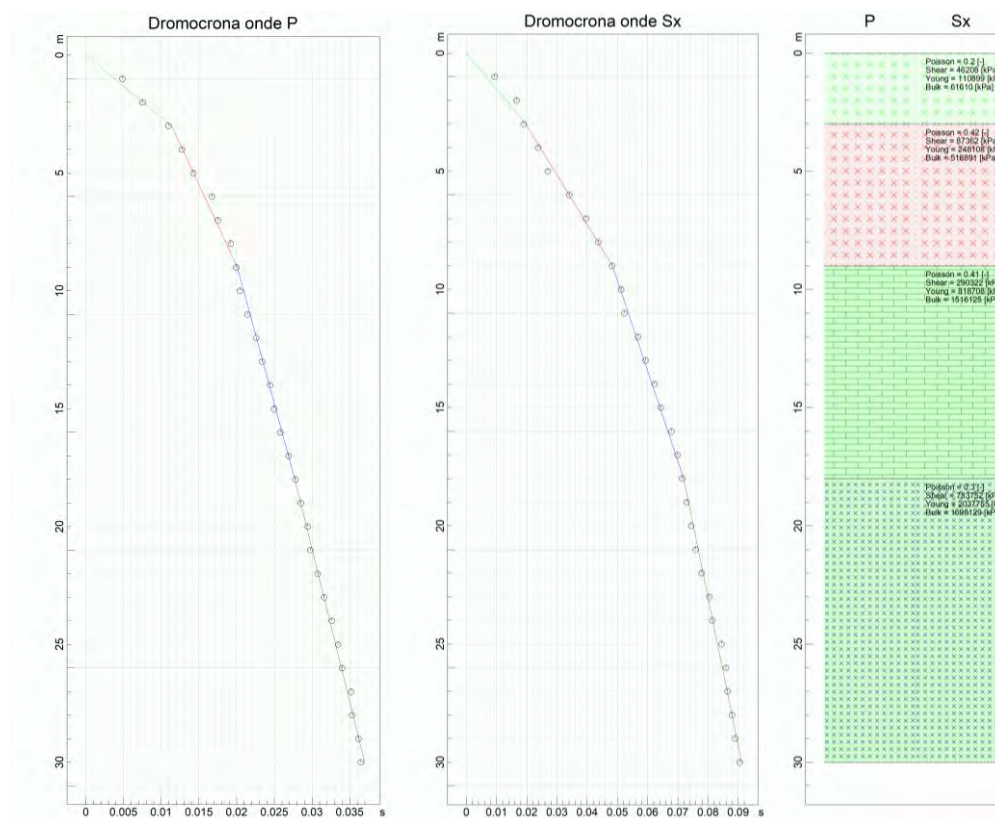


Figura 2: Dromocroni delle onde P ed S e relativi sismostrati

Nelle seguenti tabelle vengono riportati i parametri sismici ed elastici relativi agli strati individuati.

VELOCITA' ONDE P

Strato	Profondità [m]	Velocità [m/s]
1	3	264
2	9	689
3	18	1179
4	30	1296

PARAMETRI ONDE SX

Strato	Profondità [m]	Velocità [m/s]	Poisson [-]	Shear [kPa]	Young [kPa]	Bulk [kPa]
1	3	152	0.20	46208.0	110899	61610.0
2	9	209	0.42	87362.0	248108	516891
3	18	381	0.41	290322	818708	1516125.0
4	30	626	0.30	783752	2037755	1698129.0

Ai sensi del DM 17 gennaio 2018, si riporta il valore della  $V_{s,eq}$  (con  $H=30m$ ) riferito all'attuale piano campagna.

Prof. (m)	$V_{s,eq}$ (m/s)
0-30	329

## Conclusioni

L'indagine sismica (DOWN-HOLE) ha consentito di determinare il profilo verticale della Vs e, di conseguenza, del parametro Vs,eq come riportato nelle precedenti tabelle.

In riferimento alla Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni si riportano le categorie di sottosuolo di riferimento distinte in funzione del parametro Vs,eq\* (Tabella 3).

Tabella 3: Categorie di sottosuolo (Tabella 3.2.II NTC 2018)

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Il direttore del laboratorio  
Dott. Geol. Umberto Lonardo

Lo sperimentatore incaricato  
Dott. Geol. Giuseppe Pasquale

Elab. 102/23

\* La classificazione del terreno è di pertinenza dell'utente che ne deve valutare la tipologia sulla base della normativa vigente (NTC 2018) tenendo conto della locale successione stratigrafica. Si ricorda che per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio Vs,eq è definita dal parametro Vs,30, ottenuto ponendo H=30 m nella espressione [3.2.1] del § 3.2.2 NTC 2018 e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.





Accettazione n°1964

del 23 giugno 2023

Rapporti di prova n°882 n° anno 2023



**RICHIEDENTE:**  
**Dott. Geol. Nazario DI LELLA**

**COMMITTENTE:**  
**IVPC SRL**

**PROGETTO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO IN  
PROVINCIA DI BENEVENTO DA 146,40 MW SU 24  
AEROGENERATORI**

Coord. UTM Long. 491934 Lat 4578782 F 03 p.lle 188, 189, 196 E 197  
**SMC 01- Comune di San Marco dei Cavoti (BN)**

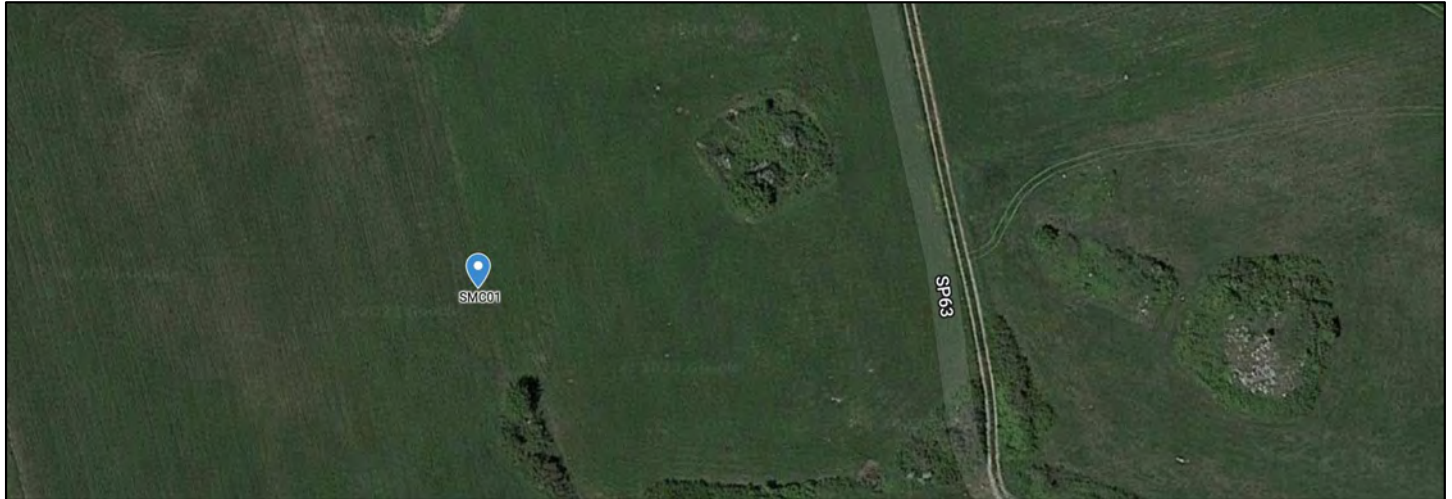


## INDAGINI IN SITO

### PROVE ESEGUITE

- Sondaggio geognostico SMC 01 30,0 rapp. di prova 875/23
- Prova sismica in foro del tipo Down-hole DH01 **rapp di prova xxxx/23**

### STRALCIO CON UBICAZIONE DELLE PROVE



### DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA

#### CAROTAGGIO CONTINUO

Tutte le indagini eseguite sono state effettuate a carotaggio continuo con il prelievo della carota disposta in apposite cassette catalogatrici. Il carotaggio è stato eseguito a secco, nei terreni più sciolti e con circolazione di fluido in quelli di natura litoide. L'espulsione della carota è stata effettuata o con spinta idraulica (acqua) o in caso di materiale litoide tramite martellamento del carotiere, il tutto raccolto in contenitore adatto e riposto, secondo la profondità, nelle apposite cassette. La strumentazione utilizzata per le indagini è la seguente: Sonda perforatrice a rotazione di marca Tecnotunnel modello TS 80, anno di produzione 2004, peso circa 7000 kg, coppia massima di rotazione 800 kgm, velocità di rotazione massima 450 g/min; corsa di 3300 mm, Aste lunghezza 1500 mm diametro 76 mm spessore 6,6 mm, Carotiere di tipo semplice diametro 101 lunghezza 3000 mm e corona con denti in widia, Pompa fanghi del tipo a vite con pressione massima di esercizio di 30 bar

#### PRELIEVO DEI CAMPIONI INDISTURBATI

Raggiunta la profondità desiderata con la perforazione si è proceduti alla manovra di pulizia del foro mediante lavaggio con acqua pulita tale da rimuovere dal fondo del foro eventuale fango e detriti lasciati dalla manovra precedente. Il prelievo dei campioni è stato eseguito, a seconda del grado di consistenza del terreno, con un campionatore a pressione di tipo shelby con fustella a pareti sottili, nei terreni meno consistenti e con un campionatore rotativo denominato "Drill" nei terreni consistenti, litoidi e semilitoidi. Tale campionatore, che viene usato con circolazione di fluido, è costituito da una parte esterna con corona sottile al widia che esegue il taglio del terreno e da una fustella interna in acciaio collegata tramite una testa libera che permette alla fustella di inserirsi nel terreno senza ruotare. Il campione indisturbato, prelevato nella fustella, è stato regolarmente paraffinato e contrassegnato con i dati relativi al sondaggio, alla profondità e alla data di prelievo.

#### STANDARD PENETRATION TEST

La prova SPT si esegue durante la perforazione. Consiste nel registrare il numero di colpi necessari per far penetrare di 45 cm nel terreno a fondo foro un tubo campionatore di dimensioni standard, collegato alla superficie mediante batteria di aste in testa sulle quali agisce un maglio del peso di 63,5 kg che cade liberamente da un'altezza di 0,75 m.

Durante la prova si misura :

N 1= numero di colpi di maglio necessari a provocare l'avanzamento del campionatore per i primi 15 cm

N 2= numero di colpi che provoca la penetrazione del campionatore nei successivi 15 cm;

N 3= numero di colpi necessari per gli ultimi 15 cm di avanzamento.

Si assume come resistenza alla penetrazione il valore:  $NSPT = N2 + N3$

Si utilizzano le seguenti attrezzature standard:

Aste d'infissione del diametro esterno 50 mm e peso di 7 kg/m; Testa di battuta di acciaio avvitata sulle aste; Maglio di acciaio di 63,5 kg; Dispositivo automatico che consente la caduta del maglio da un'altezza di 0,76 m; Centratore di guida per le aste fra la testa di battuta e il piano campagna; Campionatore standard (detto Raymond dalla società che lo ha introdotto per prima). Si tratta di un tubo carotiere avente diametro esterno di 51 mm, spessore 16 mm e lunghezza complessiva comprendente scarpa e raccordo alle aste di 813 mm. Nei terreni ghiaiosi la scarpa del carotiere viene sostituita da una punta conica di diametro 51 mm e angolo 60°. Il campionatore Raymond consta di un tubo diviso longitudinalmente a metà, i due semitubi sono tenuti insieme, durante l'infissione, da una scarpa tagliente avvitata alla base e da un anello in testa. Alla fine della prova si svita la scarpa, il carotiere si apre in due permettendo di estrarre il campione

**Profondità:** 30,00 mt **Cassette:** n°6 **Quota p.c. data esecuzione:** da 11/7/2023 al 11/7/2023 **Attrezzatura:** Tecnotunnel TS80


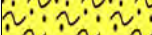
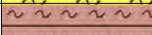
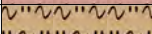
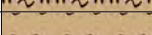
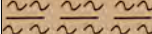
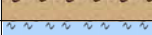


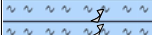

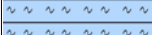
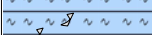

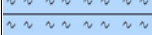
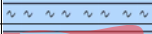




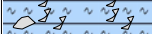
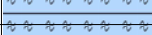




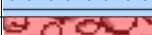


**Tipo carotaggio:** continuo Ø 101 mm **Tipo carotiere:** semplice **Rivestimento:** Ø 127 mm a mt 1,5 **Operatore:** Rocco Marcarelli

**Condizionamento foro e note:**

Foro condizionato con tubo in pvc per prova down-hole in foro

1,0 C1 A Campioni rimaneggiati ad uso ambientale A, (1,0 = profondità e C1 = n° campione)

Scala 1:150

Profondità metri	Spess. metri	SIMBOLO	DESCRIZIONE LITOLOGICA	% Carot 25 50 75	Camp. S=shelby O=Osterberg M=Mazier	Tubo Dow-hole	H <sub>2</sub> O	SPT A= punta aperta C=punta chiusa	Nspt
1	1,1		Limo sabbioso giallo-rossastro plastico, pedogenizzato - terreno vegetale.		1,0 C1A				
2	1,9		Sabbia limosa giallastra poco addensata e leggermente umida.						
3	2,6		Limo debolmente argilloso di colore rossastro con sfumature giallastre legg. plastico.						
4	3,4		Limo sabbioso umido di colore avana-beige a tratti legg. plastico.						
5	4,9		Limo argilloso di colore avana passante a grigiastro dopo i 4 metri, inclusi rari clasti minuti calcarei.		4,0 C1 S 4,5				
6	5,5		Limo debolmente argilloso di colore grigiastro abbastanza consistente.						
7			Limo debolmente argilloso di colore grigiastro con rari clasti inclusi di dimensioni millimetriche e centimetriche di natura calcarenitica e calcarea. A 6,7 metri si inviene un agglomerato di clasti centimetrici						
8									
9									
10					9,0 C2 S 9,5				
11	11,0								
12			Limo debolmente argilloso di colore grigiastro con sfumature rossastre con incluse clasti calcarenitici prevalentemente millimetrici e centimetrici						
13	13,0		Calcare compatto biancastro.						
14	13,3		Limo argilloso di colore grigiastro con rare rossastre con incluse abbastanza clasti calcarenitici prevalentemente millimetrici e centimetrici						
15	15,0				14,5 C3 M 15,0				
16			Limo debolmente argilloso di colore grigiastro con sfumature rossastre con incluse clasti calcarenitici prevalentemente millimetrici e centimetrici						
17									
18	18,2								
19	19,0		Calcare intensamente fratturati alternati a limo argilloso rossastro persa in fase di perforazione.						
20			Limo debolmente argilloso di colore rossastro con livelli e sfumature grigie a tratti verdastre. In alcuni punti la componente rossastra si presenta in scaglie ondulate con superfici traslucide. In alcuni punti si rinvencono clasti eterometrici sparsi di dimensioni dal millimetri a qualche centimetro. A tratti si rinvencono livelletti centimetrici di marnosi grigiastri intensamente fratturate, La consistenza e medio-alta.						
21									
22									
23									
24									
25						24,5 C4 M 25,0			
26									
27									
28									
29									
30	30,0	Fine Foro			29,1 C3 A				
31									
32									
33									

Accettazione n°1960

del 23 giugno 2023

Rapporti di prova n°878 e n° anno 2023



**RICHIEDENTE:**  
**Dott. Geol. Nazario DI LELLA**

**COMMITTENTE:**  
**IVPC SRL**

**PROGETTO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO IN  
PROVINCIA DI BENEVENTO DA 146,40 MW SU 24  
AEROGENERATORI**

Coord. UTM Long. 492203 Lat 4578440 F 08 p.lle 285,88 e 464  
**SMC 02- Comune di San Marco dei Cavoti (BN)**

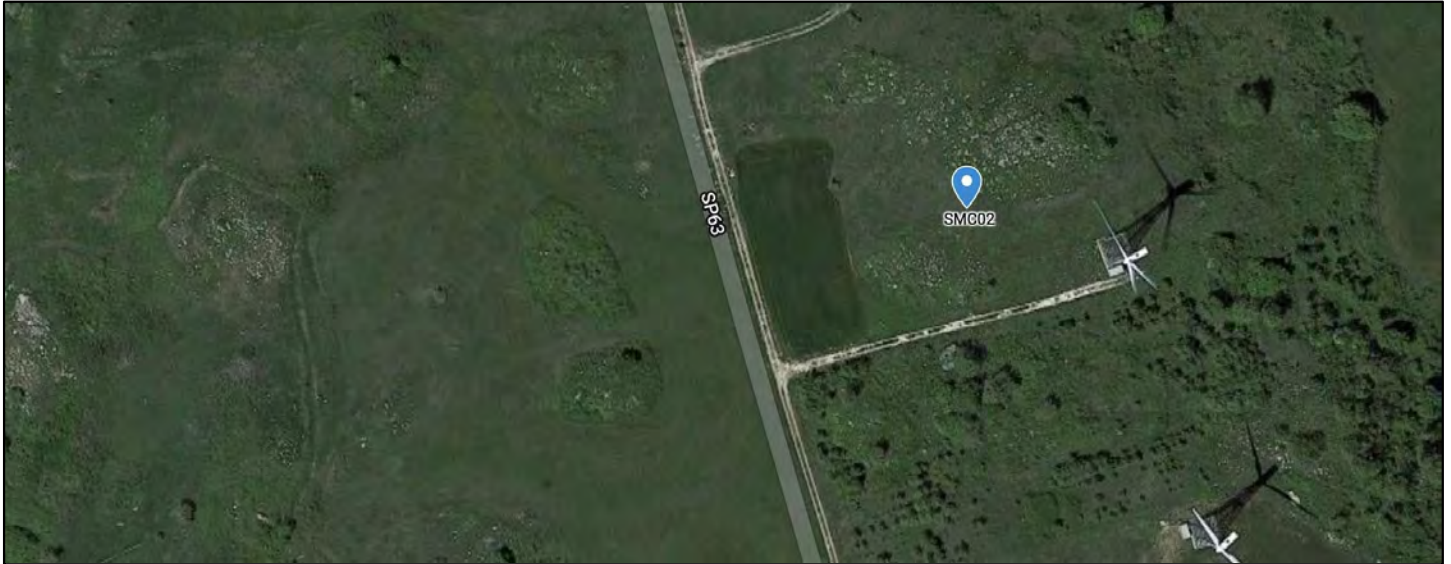


## INDAGINI IN SITO

### PROVE ESEGUITE

- Sondaggio geognostico SMG 02 a mt 30,0 rapp. di prova 878/23
- Prova sismica in foro del tipo Down-hole DH3 **rapp di prova xxxx/23**

### STRALCIO CON UBICAZIONE DELLE PROVE



### DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA

#### CAROTAGGIO CONTINUO

Tutte le indagini eseguite sono state effettuate a carotaggio continuo con il prelievo della carota disposta in apposite cassette catalogatrici. Il carotaggio è stato eseguito a secco, nei terreni più sciolti e con circolazione di fluido in quelli di natura litoide. L'espulsione della carota è stata effettuata o con spinta idraulica (acqua) o in caso di materiale litoide tramite martellamento del carotiere, il tutto raccolto in contenitore adatto e riposto, secondo la profondità, nelle apposite cassette. La strumentazione utilizzata per le indagini è la seguente: Sonda perforatrice a rotazione di marca Tecnotunnel modello TS 80, anno di produzione 2004, peso circa 7000 kg, coppia massima di rotazione 800 kgm, velocità di rotazione massima 450 g/min; corsa di 3300 mm, Aste lunghezza 1500 mm diametro 76 mm spessore 6,6 mm, Carotiere di tipo semplice diametro 101 lunghezza 3000 mm e corona con denti in widia, Pompa fanghi del tipo a vite con pressione massima di esercizio di 30 bar

#### PRELIEVO DEI CAMPIONI INDISTURBATI

Raggiunta la profondità desiderata con la perforazione si è proceduti alla manovra di pulizia del foro mediante lavaggio con acqua pulita tale da rimuovere dal fondo del foro eventuale fango e detriti lasciati dalla manovra precedente. Il prelievo dei campioni è stato eseguito, a seconda del grado di consistenza del terreno, con un campionatore a pressione di tipo shelby con fustella a pareti sottili, nei terreni meno consistenti e con un campionatore rotativo denominato "Drill" nei terreni consistenti, litoidi e semilitoidi. Tale campionatore, che viene usato con circolazione di fluido, è costituito da una parte esterna con corona sottile al widia che esegue il taglio del terreno e da una fustella interna in acciaio collegata tramite una testa libera che permette alla fustella di inserirsi nel terreno senza ruotare. Il campione indisturbato, prelevato nella fustella, è stato regolarmente paraffinato e contrassegnato con i dati relativi al sondaggio, alla profondità e alla data di prelievo.

#### STANDARD PENETRATION TEST

La prova SPT si esegue durante la perforazione. Consiste nel registrare il numero di colpi necessari per far penetrare di 45 cm nel terreno a fondo foro un tubo campionatore di dimensioni standard, collegato alla superficie mediante batteria di aste in testa sulle quali agisce un maglio del peso di 63,5 kg che cade liberamente da un'altezza di 0,75 m.

Durante la prova si misura :

N 1= numero di colpi di maglio necessari a provocare l'avanzamento del campionatore per i primi 15 cm

N 2= numero di colpi che provoca la penetrazione del campionatore nei successivi 15 cm;

N 3= numero di colpi necessari per gli ultimi 15 cm di avanzamento.

Si assume come resistenza alla penetrazione il valore:  $NSPT = N2 + N3$

Si utilizzano le seguenti attrezzature standard:

Aste d'infissione del diametro esterno 50 mm e peso di 7 kg/m; Testa di battuta di acciaio avvitata sulle aste; Maglio di acciaio di 63,5 kg; Dispositivo automatico che consente la caduta del maglio da un'altezza di 0,76 m; Centratore di guida per le aste fra la testa di battuta e il piano campagna; Campionatore standard (detto Raymond dalla società che lo ha introdotto per prima). Si tratta di un tubo carotiere avente diametro esterno di 51 mm, spessore 16 mm e lunghezza complessiva comprendente scarpa e raccordo alle aste di 813 mm. Nei terreni ghiaiosi la scarpa del carotiere viene sostituita da una punta conica di diametro 51 mm e angolo 60°. Il campionatore Raymond consta di un tubo diviso longitudinalmente a metà, i due semitubi sono tenuti insieme, durante l'infissione, da una scarpa tagliente avvitata alla base e da un anello in testa. Alla fine della prova si svita la scarpa, il carotiere si apre in due permettendo di estrarre il campione

**Profondità:** 30,00 mt **Cassette:** n°6 **Quota p.c.** data esecuzione: da 7/7/2023 al 10/7/2023 **Attrezzatura:** Tecnotunnel TS80

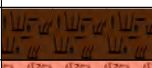






















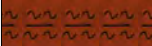
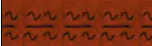

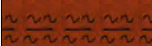
**Tipo carotaggio:** continuo Ø 101 mm **Tipo carotiere:** semplice **Rivestimento:** Ø 127 mm a mt 3,0 **Operatore:** Rocco Marcarelli


**Condizionamento foro e note:**

Foro condizionato con tubo in pvc per prova down-hole in foro

1,0 C1 A Campioni rimaneggiati ad uso ambientale A, (1,0 = profondità e C1 = n° campione)

Scala 1:150

Profondità metri	Spess. metri	SIMBOLO	DESCRIZIONE LITOLOGICA	% Carot 25 50 75	Camp. S=Shelby O=Osterberg M=Mazier	Tubo Dow-hole	H <sub>2</sub> O	SPT A= punta aperta C=punta chiusa	Nspt
1	1,0		Sabbia limosa sciolta bruna - terreno vegetale.						
2			Limo debolmente argilloso di colore rossastro con abbondanti elementi calcarei in strati decimetrici (1,6÷1,7 e 2,0÷2,1) e clasti eterometrici (materiale proveniente da intensa fratturazione).						
3									
4									
5									
6	5,6	4,6							
7			Livelli calcarei con spessori di 10-15 cm RQD 70%						
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17			Calcarei biancastri in strati da centimetrici fino a 30 cm alternati a brecce calcaree eterometriche intervallati da sabbia media grossolana calcarea biancastra dovuta alla intensa fratturazione e n matrice talvolta gialla-rossastra più presente alla base. Probabile circolazione idrica.  RQD tra 5,6÷7,0 mt~0% intensamente fratturato 7,0÷8,0 mt~40% 9,0÷10,0 mt~50% 11,0÷12,0 mt~30% 12,0÷13,0 mt~20% 13,0÷14,0 mt~15÷20% 14,0÷15,0 mt~30% 15,0÷17,0 mt~0% intensamente fratturato 17,0÷19,0 mt~25% 19,0÷20,0 mt~45% 21,0÷23,0 mt~20÷25% 23,0÷24,0 mt~50% 24,0÷25,0 mt~10%						
18									
19									
20									
21									
22									
23									
24									
25	25,0	19,4							
26			Limo argilloso di colore rossastro abbastanza consistente con un livello calcareo decimetrico a 27 metri, inclusi vari clasti carbonatici sparsi.						
27									
28									
29									
30	30,0	Fine Foro							
31									
32									
33									

 A  
Mt 26,0  
(44-Rifiuto) **Rif**

Accettazione n°1962

del 23 giugno 2023

Rapporti di prova n°875 e n°913 anno 2023



**RICHIEDENTE:**  
**Dott. Geol. Nazario DI LELLA**

**COMMITTENTE:**  
**IVPC SRL**

**PROGETTO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO IN  
PROVINCIA DI BENEVENTO DA 146,40 MW SU 24  
AEROGENERATORI**

Coord. UTM Long. 492268 Lat 4577667 F 08 p.ile 175,176 e 358  
**SMC 04- Comune di San Marco dei Cavoti (BN)**

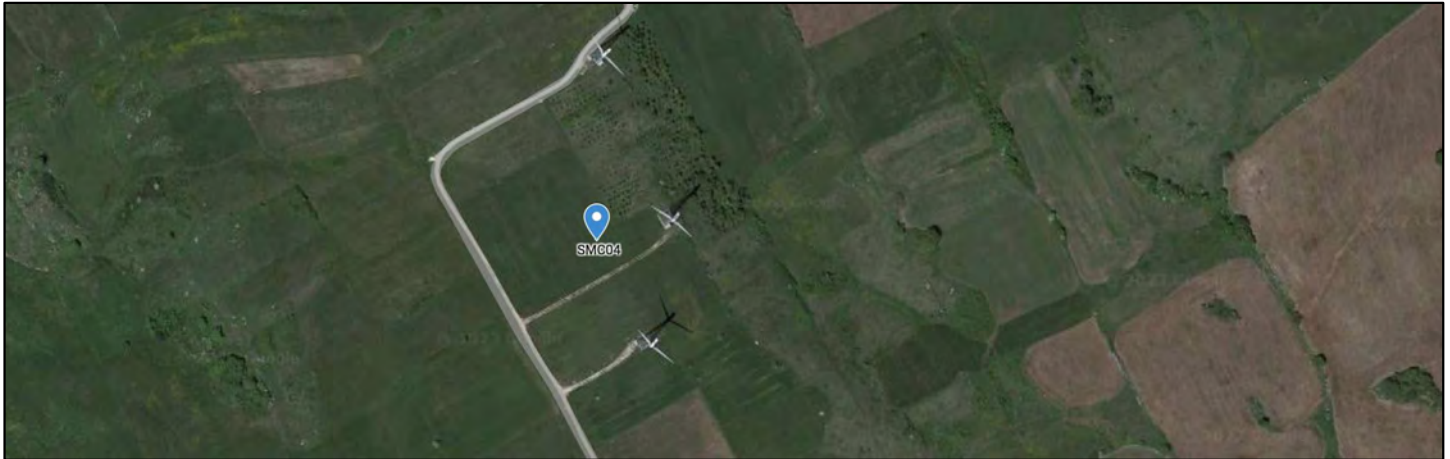


## INDAGINI IN SITO

### PROVE ESEGUITE

- Sondaggio geognostico SMC 04 a mt 30,0 rapp. di prova 875/23
- Prova sismica in foro del tipo Down-hole DH04 rapp di prova 913/23

### STRALCIO CON UBICAZIONE DELLE PROVE



### DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA

#### CAROTAGGIO CONTINUO

Tutte le indagini eseguite sono state effettuate a carotaggio continuo con il prelievo della carota disposta in apposite cassette catalogatrici. Il carotaggio è stato eseguito a secco, nei terreni più sciolti e con circolazione di fluido in quelli di natura litoide. L'espulsione della carota è stata effettuata o con spinta idraulica (acqua) o in caso di materiale litoide tramite martellamento del carotiere, il tutto raccolto in contenitore adatto e riposto, secondo la profondità, nelle apposite cassette. La strumentazione utilizzata per le indagini è la seguente: Sonda perforatrice a rotazione di marca Tecnotunnel modello TS 80, anno di produzione 2004, peso circa 7000 kg, coppia massima di rotazione 800 kgm, velocità di rotazione massima 450 g/min; corsa di 3300 mm, Aste lunghezza 1500 mm diametro 76 mm spessore 6,6 mm, Carotiere di tipo semplice diametro 101 lunghezza 3000 mm e corona con denti in widia, Pompa fanghi del tipo a vite con pressione massima di esercizio di 30 bar

#### PRELIEVO DEI CAMPIONI INDISTURBATI

Raggiunta la profondità desiderata con la perforazione si è proceduti alla manovra di pulizia del foro mediante lavaggio con acqua pulita tale da rimuovere dal fondo del foro eventuale fango e detriti lasciati dalla manovra precedente. Il prelievo dei campioni è stato eseguito, a seconda del grado di consistenza del terreno, con un campionatore a pressione di tipo shelby con fustella a pareti sottili, nei terreni meno consistenti e con un campionatore rotativo denominato "Drill" nei terreni consistenti, litoidi e semilitoidi. Tale campionatore, che viene usato con circolazione di fluido, è costituito da una parte esterna con corona sottile al widia che esegue il taglio del terreno e da una fustella interna in acciaio collegata tramite una testa libera che permette alla fustella di inserirsi nel terreno senza ruotare. Il campione indisturbato, prelevato nella fustella, è stato regolarmente paraffinato e contrassegnato con i dati relativi al sondaggio, alla profondità e alla data di prelievo.

#### STANDARD PENETRATION TEST

La prova SPT si esegue durante la perforazione. Consiste nel registrare il numero di colpi necessari per far penetrare di 45 cm nel terreno a fondo foro un tubo campionatore di dimensioni standard, collegato alla superficie mediante batteria di aste in testa sulle quali agisce un maglio del peso di 63,5 kg che cade liberamente da un'altezza di 0,75 m.

Durante la prova si misura :

N 1= numero di colpi di maglio necessari a provocare l'avanzamento del campionatore per i primi 15 cm

N 2= numero di colpi che provoca la penetrazione del campionatore nei successivi 15 cm;

N 3= numero di colpi necessari per gli ultimi 15 cm di avanzamento.

Si assume come resistenza alla penetrazione il valore:  $NSPT = N2 + N3$

Si utilizzano le seguenti attrezzature standard:

Aste d'infissione del diametro esterno 50 mm e peso di 7 kg/m; Testa di battuta di acciaio avvitata sulle aste; Maglio di acciaio di 63,5 kg; Dispositivo automatico che consente la caduta del maglio da un'altezza di 0,76 m; Centratore di guida per le aste fra la testa di battuta e il piano campagna; Campionatore standard (detto Raymond dalla società che lo ha introdotto per prima). Si tratta di un tubo carotiere avente diametro esterno di 51 mm, spessore 16 mm e lunghezza complessiva comprendente scarpa e raccordo alle aste di 813 mm. Nei terreni ghiaiosi la scarpa del carotiere viene sostituita da una punta conica di diametro 51 mm e angolo 60°. Il campionatore Raymond consta di un tubo diviso longitudinalmente a metà, i due semitubi sono tenuti insieme, durante l'infissione, da una scarpa tagliente avvitata alla base e da un anello in testa. Alla fine della prova si svita la scarpa, il carotiere si apre in due permettendo di estrarre il campione

**Profondità:** 30,00 mt **Cassette:** n°6 **Quota p.c.** data esecuzione: da 4/7/2023 al 4/7/2023 **Attrezzatura:** Tecnotunnel TS80  
**Tipo carotaggio:** continuo Ø 101 mm **Tipo carotiere:** semplice **Rivestimento:** Ø 127 mm a mt 1,5 **Operatore:** Rocco Marcarelli

**Condizionamento foro e note:**  
Foro condizionato con tubo in pvc per prova down-hole in foro  
**1,0 C1 A** Campioni rimaneggiati ad uso ambientale A, (1,0 = profondità e C1 = n° campione)

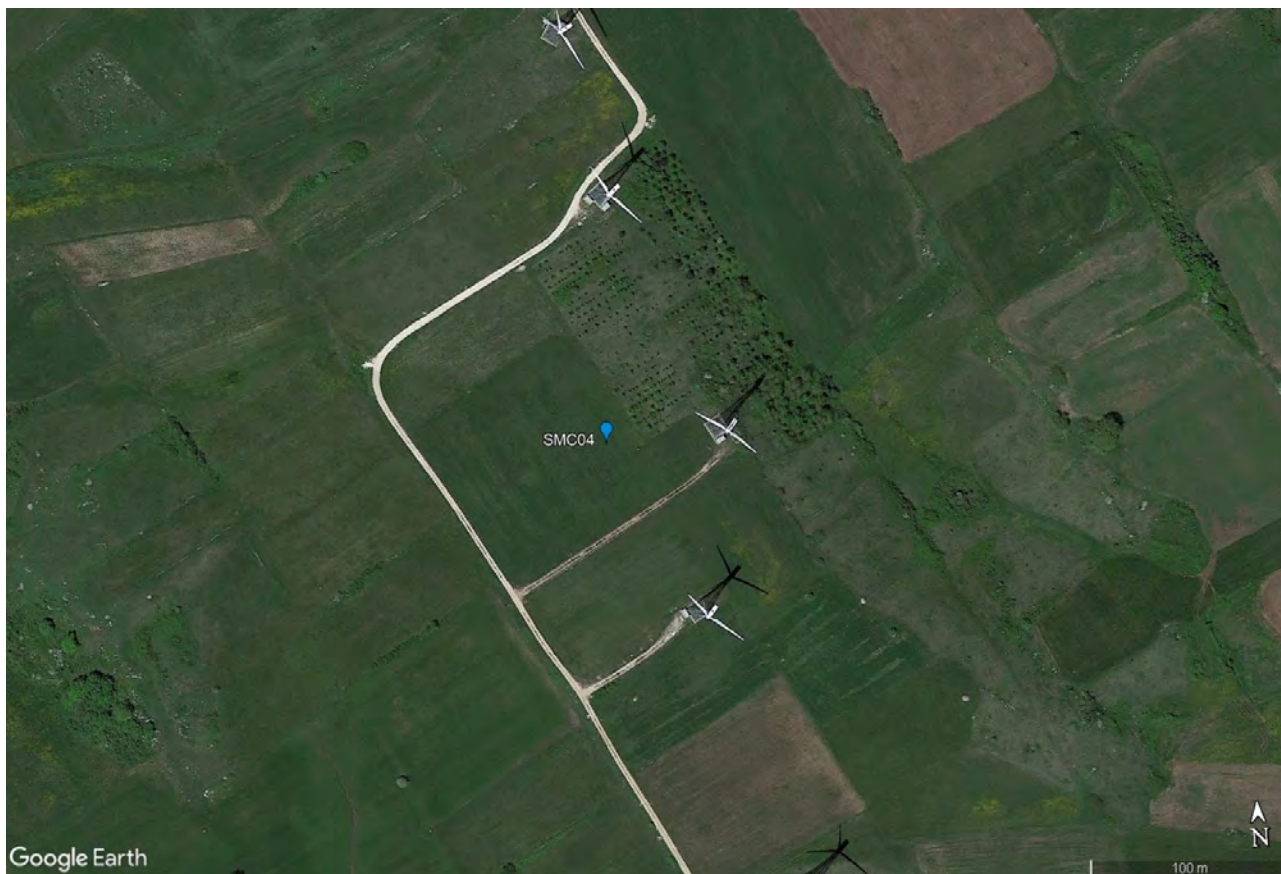
Scala 1:150

Profondità metri	Spess. metri	SIMBOLO	DESCRIZIONE LITOLOGICA	% Carot 25 50 75	Camp. S=shelby O=Osterberg M=Mazier	Tubo Dow-hole	H <sub>2</sub> O	SPT A= punta aperta C=punta chiusa	Nspt
1	0,3		Sabbia limosa sciolta bruna - terreno vegetale.						
	1,0		Limo debolmente argilloso di colore bruno rossastro con sfumature biancastre dovute a depositi carbonatici. Poco consistente.						
2					1,3	C1A			
3									
4			Limo debolmente argilloso a tratti marnoso argilloso intensamente scagliettato con scaglie a superficie traslucida. Inclusi, noduli biancastri di calcari in fase di decalcificazione. Presenza di rari livelletti minori di 1 cm di sabbia e brecciole.		4,0	C1	S		
5					4,5				
6								A Mt 6,5 (26-38-47)	85
7			Limo argilloso di colore grigiastro compatto alla base diventa rossastro.						
8	7,5	6,5							
	8,1	0,6							
9	8,3	0,2	Calcari fratturati in breccie eterometriche a spigoli vivi.						
10					9,5	C2	S		
11					10,0				
12									
13								A Mt 14,0 (40-Rifiuto)	Rif
14									
15			Limo debolmente argilloso a tratti marnoso argilloso intensamente scagliettato con scaglie a superficie traslucida. Inclusi, noduli biancastri di calcari in fase di decalcificazione. Presenza di rari di inclusi carbonatici di varie dimensioni sparsi nell'ammasso. Compatto		15,5	C2 A			
16					16,0	C3	M		
17					16,5				
18									
19									
20								C Mt 20,5 (47-Rifiuto)	Rif
21									
22									
23									
24	23,9	15,6							
	24,5	0,6	Calcari fratturati in breccie da centimetriche a decimetriche		24,5	C4	M		
25	25,0	0,5	Limo debolmente argilloso e sabbioso di colore rosso con inclusi.		25,0				
26									
27			Alternanza di limo debolmente argilloso di colore rossastro in strati da decimetrici a 20-30 cm con livelli calcarei biancastri aventi spessori da alcuni cm fino a 20 cm.						
28					27,8	C3 A			
29								C Mt 29,5 (Rifiuto)	Rif
30	30,0	Fine Foro							
31									
32									
33									



## INDAGINE SISMICA DOWN-HOLE DH04

### Ubicazione



### Normativa di riferimento

I disastrosi terremoti che negli ultimi anni hanno interessato l'Italia hanno determinato una riclassificazione sismica del territorio nazionale e una rivisitazione della normativa sismica che regola le costruzioni ricadenti in zone sismiche. Le Nuove Norme Tecniche sulle Costruzioni (NTC 17 gennaio 2018<sup>1</sup>), la normativa tecnica europea (Eurocodici EC7<sup>2</sup> e EC8<sup>3</sup>) e le più avanzate normative internazionali<sup>4</sup> disciplinano la progettazione e la costruzione di nuovi edifici soggetti ad azioni sismiche e la valutazione della sicurezza e degli interventi di adeguamento su edifici soggetti al medesimo tipo di azioni. Tali norme hanno lo scopo di assicurare che in caso di evento sismico sia protetta la vita umana, siano limitati i danni e rimangano funzionanti le strutture essenziali agli interventi di protezione civile. Fra le novità più importanti della nuova normativa tecnica in materia di progettazione antisismica vi è l'estensione della zonazione sismica a tutto il territorio nazionale.

La necessità di investigare il sottosuolo ha indirizzato i ricercatori a studiare tecniche non invasive, e quindi economiche, veloci e pratiche, per effettuare caratterizzazioni sismostratigrafiche del sottosuolo. Per ottemperare a quanto prescritto dalla normativa vigente è necessario determinare le azioni sismiche previste su nuove costruzioni, ampliamenti e ristrutturazioni importanti che ricadono in zona sismica, attraverso la determinazione della  $V_{s,eq}$  in m/s (velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio). A tale parametro vengono attribuiti intervalli di variazione a cui corrispondono differenti categorie di sottosuolo (§ 3.2.2 NTC 2018). Il parametro  $V_{s,eq}$  è calcolato mediante la seguente espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}} \text{ .m/s}]$$

<sup>1</sup> Decreto del Ministero delle Infrastrutture 17 gennaio 2018, pubblicato sul supplemento ordinario n. 42 del 20 febbraio 2018

<sup>2</sup> CEN 1994, Geotechnical Design, General Rules, European Committee for Standardisation (CEN), Eurocode 7 Part 1.

<sup>3</sup> CEN 2003, Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, Final Draft, prEN 1998-1, Brussels;

<sup>4</sup> CEN 2004, Design of structures for earthquake resistance - Part 3: Assessment and retrofitting for buildings, Draft No 7, prEN 1998-3, Brussels.

<sup>5</sup> Applied Technology Council, 1996, Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Volume 1, California;

ACI 318, Building Code Requirements for Reinforced Concrete and Commentary, American Concrete Institute, Michigan, 2000;

Standards New Zealand, The design of concrete structures, NZS 3101, Wellington, 1995;

Canada Standards, The design of concrete structures, CSA-A23.3-04, Canada, 2005.



**Accettazione n° 1962 del 23.06.2023**

**Richiedente:** Dott. Geol. Nazario Di Lella

**Committente:** IVPC srl

**Progetto:** progetto di rifacimento di un parco eolico in provincia di Benevento pari a 146,40MW su 24 aerogeneratori

**Località:** F.8 p.lle 175, 176, 358 -Comune di San Marco dei Cavoti (BN)

**Data esecuzione:** 27.07.2023

**Rapporto di prova:** n° 913 del 27.07.2023

dove:

$V_{s,i}$ : velocità delle onde di taglio nell' i-esimo strato

$h_i$ : spessore in metri dello strato i-esimo

N: numero di strati

H: profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione. Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  è definita dal parametro  $V_{s,30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

La determinazione della  $V_{s,eq}$  avviene attraverso specifiche indagini geofisiche che si basano sulla propagazione delle onde sismiche nel sottosuolo.

In generale, le indagini sismiche si dividono in attive e passive. Le prime consistono nella generazione di onde sismiche che si propagano nel sottosuolo in seguito ad una energizzazione, che avviene tramite massa battente o scoppio, in un punto sorgente. Le onde generate vengono successivamente registrate da geofoni, rilevatori del moto del suolo, disposti lungo una linea sismica. Le indagini sismiche passive, invece, sono caratterizzate dalla registrazione del rumore sismico generato da sorgenti naturali e/o artificiali (rumore antropico).

#### Indagine sismica con tecnica "Down-Hole"

L'indagine sismica in foro di tipo down-hole viene effettuata mediante l'utilizzo di una sorgente energizzante in superficie ed una sonda di ricezione in configurazione triassiale calata in foro. La sonda di ricezione triassiale è costituita da tre geofoni (uno verticale e due orizzontali posti ortogonalmente tra di loro). Uno specifico sistema di tipo meccanico permette alla sonda di ancorarsi alle pareti del foro alle profondità stabilite. Il geofono verticale registra l'arrivo delle onde P, mentre i due geofoni orizzontali registrano l'arrivo delle onde S. Nella tecnica down-hole un sismografo registra il treno d'onda generato dalla sorgente ed arrivato al ricevitore calato in foro; ne risulta un sismogramma nel quale si possono individuare i tempi di arrivo delle onde dirette (onde P) e di taglio (onde S), a seconda di come viene direzionata l'energizzazione e del ricevitore utilizzato. Dal risultante tempo di arrivo delle onde sismiche tramite il percorso diretto tra sorgente e ricevitore si può risalire alle velocità sismiche P ed S per quanto riguarda il terreno indagato, sino alla profondità raggiunta dalla sonda triassiale ( $\text{Velocità sismica [m/s]} = \text{distanza sorgente-ricevitore [m]} / \text{tempo di percorrenza [millisecondi]}$ ). La sorgente energizzante è costituita da una massa battente di 8 kg. Per la generazione delle onde P viene effettuata un'energizzazione verticale su piastra mentre per la generazione delle onde S l'energizzazione è orizzontale su un lato o entrambi i lati di una traversina di legno posta sotto le ruote di un automezzo, il cui peso ha il compito di rendere la stessa più solidale col terreno in modo da trasmettere al meglio le onde di taglio generate.

#### Strumentazione utilizzata per tecnica Down-Hole

L'indagine è stata condotta mediante l'utilizzo del sismografo GEA24 della PASI srl (via Galliari 5/E TORINO, con canali a 24 bit (con PC esterno) adatto a RIFRAZIONE, RIFLESSIONE SUPERFICIALE, ONDE DI SUPERFICIE (MASW, Re.Mi.,  $V_{s,eq}$ , MAAM, ESAC, ecc.) HVSR/ VIBRAZIONI, DOWNHOLE, CROSSHOLE, utilizzando un Geofono da foro 3D "GFA-50"

I segnali sismici acquisiti sono stati successivamente elaborati con un apposito programma INTERSISM della GeoSoft dell'ing. Giorgio Sciolto, per la determinazione della sismostratigrafia del sottosuolo.

Il direttore del laboratorio

Dott. Geol. Umberto Lonardo



INDAGINI GEOGNOSTICHE - GEOTECNICA - SISMICA

GEO-TECNICA SRL – Zona Industriale Ponte Valentino  
82100 Benevento www.geo-tecnica.it e-mail: informazioni@geo-tecnica.it

**Accettazione n° 1962 del 23.06.2023**

**Richiedente:** Dott. Geol. Nazario Di Lella

**Committente:** IVPC srl

**Progetto:** progetto di rifacimento di un parco eolico in provincia di Benevento pari a 146,40MW su 24 aerogeneratori

**Località** F.8 p.lle 175, 176, 358 -Comune di San Marco dei Cavoti (BN)

**Data esecuzione:** 27.07.2023

**Rapporto di prova:** n° 913 del 27.07.2023

## **Premessa**

Il sottoscritto dott. geol. Giuseppe Pasquale, iscritto all'Ordine dei Geologi della Regione Campania al n. 2319, veniva incaricato dalla GEO-TECNICA srl con sede alla Z.I. Ponte Valentino-Benevento di eseguire la caratterizzazione sismica nel Comune di San Marco dei Cavoti (BN), Località F.8 p.lle 175, 176, 358, per i lavori relativi a "progetto di rifacimento di un parco eolico in provincia di Benevento pari a 146,40MW su 24 aerogeneratori". La ditta committente è rappresentata dall' IVPC srl.

Obiettivo della presente relazione geofisica è quello di definire, all'interno del sondaggio geognostico SMC 04, secondo quanto previsto dalla normativa vigente in materia il parametro  $V_{s,eq}$  attraverso la stima delle velocità dei terreni con l'esecuzione di n. 1 prova sismica di tipo DOWN-HOLE mediante la caratterizzazione dinamica del sottosuolo con l'individuazione delle principali unità sismostratigrafiche e delle relative proprietà elastiche.

Di seguito vengono riportati i risultati delle elaborazioni dell'indagine eseguita.

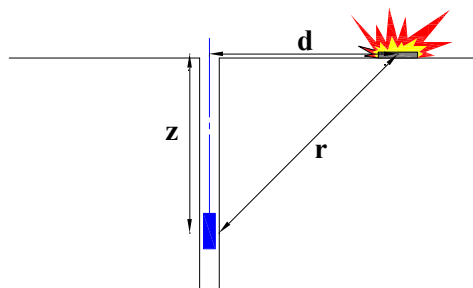
Prova sismica in foro tipo DOWN-HOLE DH04: rapporto di prova n. 913 del 27.07.2023

## Acquisizione ed elaborazione dei dati DH04

La prova sismica DH è stata eseguita all'interno del sondaggio geognostico SMC 04 opportunamente condizionato e per la registrazione delle onde sismiche è stato utilizzato un geofono tridimensionale da foro (o sonda geofonica). L'ancoraggio della sonda alla parete della tubazione (PVC  $\varnothing$  80 mm) è stato garantito da un pistone pneumatico azionato da un dispositivo ad aria compressa.

Per garantire la generazione degli impulsi P ed S è stata utilizzata, come fonte di energizzazione, una massa battente di 8 kg, e per ciascun punto di misura sono state effettuate 2 battute, una verticale e una orizzontale.

Nel caso in esame, la sorgente è stata posizionata ad una distanza di 1,00 m dal boccaforo (Tabella 1), per questo motivo nella fase di elaborazione dei dati è stata effettuata la correzione dei tempi. Se  $d$  è la distanza della sorgente dall'asse del foro (Figura 1),  $r$  la distanza fra la sorgente e il ricevitore,  $z$  la profondità di misura è possibile ottenere i tempi corretti ( $t_{corr}$ ) mediante la seguente formula di conversione:



$$t_{corr} = \frac{z}{r} t$$

Figura 1. Schema down-hole

## Tabella 1: Geometria di acquisizione

Distanza da boccaforo (m)	1,00
Profondità raggiunta (m)	30,0
Intervallo di misura (m)	1,0

Attraverso uno specifico software per l'elaborazione dei dati sismici in foro (INTERSISM) le tracce sismiche relative alle onde P ed S di ogni sismogramma sono state separate e raggruppate in seguito in tre files distinti (uno per le onde P e due per onde S) contenenti tutte le tracce P o S alle diverse profondità. Dei due sismogrammi S è stato scelto quello col dato migliore, ovvero quello che al momento dell'acquisizione in foro era



orientato nella posizione più favorevole. Successivamente si è proceduto alla lettura dei tempi di arrivo.

Nella Tabella 2 vengono riportati i tempi corretti.

N° Geof.	Profondità [m]	Onde P [ms]	Onde S (X) [ms]	Onde P (corretti) [ms]	Onde S (X) (corretti) [ms]
1	1.00	5.34	10.06	3.77	7.12
2	2.00	6.81	15.27	6.09	13.66
3	3.00	8.21	19.09	7.79	18.11
4	4.00	8.54	25.68	8.28	24.91
5	5.00	9.50	30.88	9.32	30.28
6	6.00	10.59	33.50	10.45	33.04
7	7.00	11.81	35.38	11.69	35.02
8	8.00	12.50	38.97	12.40	38.67
9	9.00	13.00	40.34	12.92	40.09
10	10.00	13.50	42.22	13.43	42.01
11	11.00	14.48	45.81	14.42	45.62
12	12.00	15.22	47.19	15.17	47.03
13	13.00	15.46	50.66	15.41	50.51
14	14.00	16.10	53.09	16.06	52.96
15	15.00	17.00	56.91	16.96	56.78
16	16.00	17.59	59.69	17.56	59.57
17	17.00	18.14	61.07	18.10	60.97
18	18.00	18.73	63.92	18.70	63.82
19	19.00	19.07	66.28	19.05	66.19
20	20.00	19.50	67.67	19.48	67.58
21	21.00	20.16	69.40	20.14	69.32
22	22.00	20.66	70.59	20.63	70.52
23	23.00	21.18	72.53	21.16	72.46
24	24.00	21.51	73.22	21.49	73.16
25	25.00	22.16	75.30	22.14	75.24
26	26.00	22.70	76.69	22.68	76.63
27	27.00	23.13	79.47	23.11	79.41
28	28.00	23.45	80.51	23.44	80.46
29	29.00	23.89	82.94	23.87	82.89
30	30.00	24.28	83.98	24.27	83.93

Tabella 2: tempi corretti secondo lo schema riportato in Figura 1

Calcolati i tempi corretti per le onde P ed S, è stato realizzato il grafico tempo/profondità ed individuati i tratti a velocità omogenea (dromocrone) (Figura 2). La velocità media delle onde sismiche, relativa a strati omogenei di terreno, è rappresentata dalla pendenza dei segmenti di retta che meglio interpolano i punti sperimentali. In Figura 2 vengono riportate le dromocrone e i relativi sismostrati individuati.

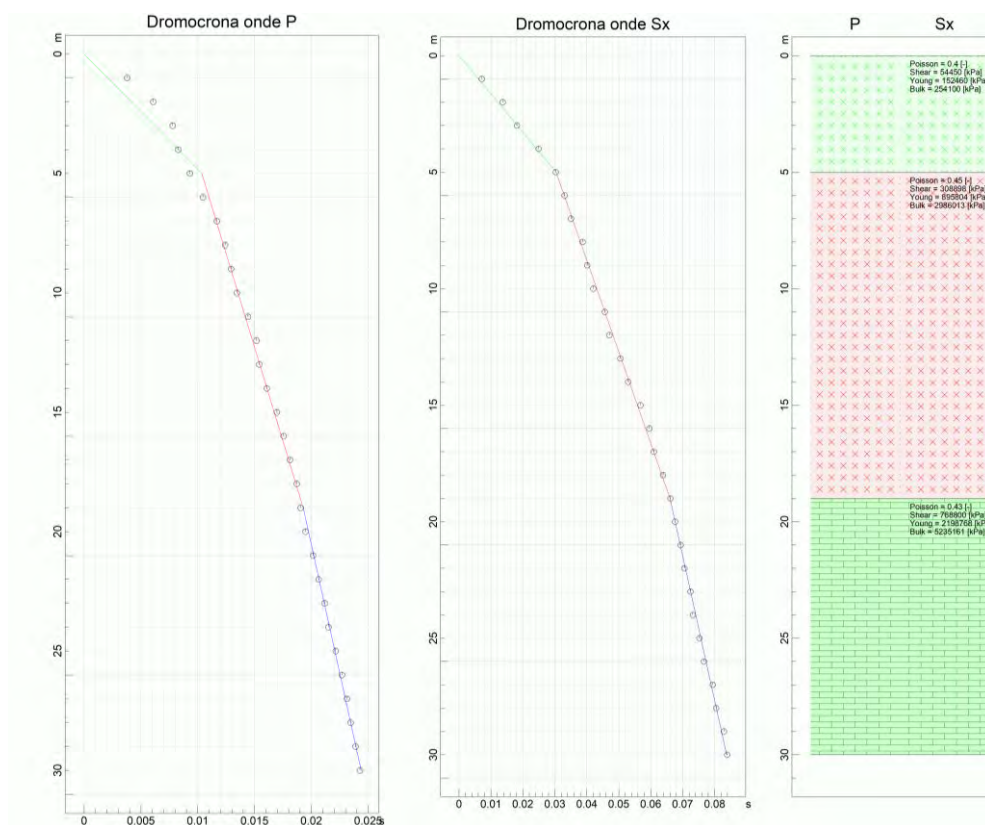


Figura 2: Dromocrone delle onde P ed S e relativi sismostrati

Nelle seguenti tabelle vengono riportati i parametri sismici ed elastici relativi agli strati individuati.

VELOCITA' ONDE P

Strato	Profondità [m]	Velocità [m/s]
1	5	483
2	19	1570
3	30	2155

PARAMETRI ONDE SX

Strato	Profondità [m]	Velocità [m/s]	Poisson [-]	Shear [kPa]	Young [kPa]	Bulk [kPa]
1	5	165	0.40	54450.0	152460	254100
2	19	393	0.45	308898	895804	2986012
3	30	620	0.43	768800	2198768	5235162

Ai sensi del DM 17 gennaio 2018, si riporta il valore della  $V_{s,eq}$  (con  $H=30m$ ) riferito all'attuale piano campagna.

Prof. (m)	$V_{s,eq}$ (m/s)
0-30	359

## Conclusioni

L'indagine sismica (DOWN-HOLE) ha consentito di determinare il profilo verticale della Vs e, di conseguenza, del parametro Vs,eq come riportato nelle precedenti tabelle.

In riferimento alla Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni si riportano le categorie di sottosuolo di riferimento distinte in funzione del parametro Vs,eq\* (Tabella 3).

**Tabella 3: Categorie di sottosuolo (Tabella 3.2.II NTC 2018)**

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

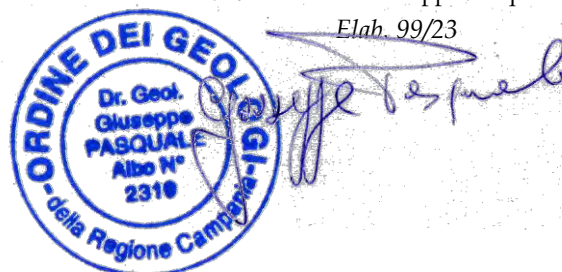
Il direttore del laboratorio  
Dott. Geol. Umberto Lonardo



**GEO-TECNICA**  
INDAGINI GEOGNOSTICHE - GEOTECNICA - SISMICA  
Z.I. Ponte Valentino - 82100 BENEVENTO  
www.geo-tecnica.it

Lo sperimentatore incaricato  
Dott. Geol. Giuseppe Pasquale

Elab. 99/23



\* La classificazione del terreno è di pertinenza dell'utente che ne deve valutare la tipologia sulla base della normativa vigente (NTC 2018) tenendo conto della locale successione stratigrafica. Si ricorda che per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio Vs,eq è definita dal parametro Vs,30, ottenuto ponendo H=30 m nella espressione [3.2.1] del § 3.2.2 NTC 2018 e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.





Accettazione n°1963

del 23 giugno 2023

Rapporti di prova n°835 e n° anno 2023



**RICHIEDENTE:**  
**Dott. Geol. Nazario DI LELLA**

**COMMITTENTE:**  
**IVPC SRL**

**PROGETTO PER IL RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO IN  
PROVINCIA DI BENEVENTO DA 146,40 MW SU 24  
AEROGENERATORI**

Coord. UTM Long. 492448 Lat 4577329 F 09 p.lle 254 e 256  
**SMC 05- Comune di San Marco dei Cavoti (BN)**

## INDAGINI IN SITO

### PROVE ESEGUITE

- Sondaggio geognostico SMC 05 a mt 30,0 rapp. di prova 835/23
- Prova sismica in foro del tipo Down-hole DH3 **rapp di prova xxxx/23**

### STRALCIO CON UBICAZIONE DELLE PROVE



### DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA

#### CAROTAGGIO CONTINUO

Tutte le indagini eseguite sono state effettuate a carotaggio continuo con il prelievo della carota disposta in apposite cassette catalogatrici. Il carotaggio è stato eseguito a secco, nei terreni più sciolti e con circolazione di fluido in quelli di natura litoide. L'espulsione della carota è stata effettuata o con spinta idraulica (acqua) o in caso di materiale litoide tramite martellamento del carotiere, il tutto raccolto in contenitore adatto e riposto, secondo la profondità, nelle apposite cassette. La strumentazione utilizzata per le indagini è la seguente: Sonda perforatrice a rotazione di marca Tecnotunnel modello TS 80, anno di produzione 2004, peso circa 7000 kg, coppia massima di rotazione 800 kgm, velocità di rotazione massima 450 g/min; corsa di 3300 mm, Aste lunghezza 1500 mm diametro 76 mm spessore 6,6 mm, Carotiere di tipo semplice diametro 101 lunghezza 3000 mm e corona con denti in widia, Pompa fanghi del tipo a vite con pressione massima di esercizio di 30 bar

#### PRELIEVO DEI CAMPIONI INDISTURBATI

Raggiunta la profondità desiderata con la perforazione si è proceduti alla manovra di pulizia del foro mediante lavaggio con acqua pulita tale da rimuovere dal fondo del foro eventuale fango e detriti lasciati dalla manovra precedente. Il prelievo dei campioni è stato eseguito, a seconda del grado di consistenza del terreno, con un campionatore a pressione di tipo shelby con fustella a pareti sottili, nei terreni meno consistenti e con un campionatore rotativo denominato "Drill" nei terreni consistenti, litoidi e semilitoidi. Tale campionatore, che viene usato con circolazione di fluido, è costituito da una parte esterna con corona sottile al widia che esegue il taglio del terreno e da una fustella interna in acciaio collegata tramite una testa libera che permette alla fustella di inserirsi nel terreno senza ruotare. Il campione indisturbato, prelevato nella fustella, è stato regolarmente paraffinato e contrassegnato con i dati relativi al sondaggio, alla profondità e alla data di prelievo.

#### STANDARD PENETRATION TEST

La prova SPT si esegue durante la perforazione. Consiste nel registrare il numero di colpi necessari per far penetrare di 45 cm nel terreno a fondo foro un tubo campionario di dimensioni standard, collegato alla superficie mediante batteria di aste in testa sulle quali agisce un maglio del peso di 63,5 kg che cade liberamente da un'altezza di 0,75 m.

Durante la prova si misura :

N 1= numero di colpi di maglio necessari a provocare l'avanzamento del campionario per i primi 15 cm

N 2= numero di colpi che provoca la penetrazione del campionario nei successivi 15 cm;

N 3= numero di colpi necessari per gli ultimi 15 cm di avanzamento.

Si assume come resistenza alla penetrazione il valore:  $NSPT = N2 + N3$

Si utilizzano le seguenti attrezzature standard:

Aste d'infissione del diametro esterno 50 mm e peso di 7 kg/m; Testa di battuta di acciaio avvitata sulle aste; Maglio di acciaio di 63,5 kg; Dispositivo automatico che consente la caduta del maglio da un'altezza di 0,76 m; Centratore di guida per le aste fra la testa di battuta e il piano campagna; Campionatore standard (detto Raymond dalla società che lo ha introdotto per prima). Si tratta di un tubo carotiere avente diametro esterno di 51 mm, spessore 16 mm e lunghezza complessiva comprendente scarpa e raccordo alle aste di 813 mm. Nei terreni ghiaiosi la scarpa del carotiere viene sostituita da una punta conica di diametro 51 mm e angolo 60°. Il campionatore Raymond consta di un tubo diviso longitudinalmente a metà, i due semitubi sono tenuti insieme, durante l'infissione, da una scarpa tagliente avvitata alla base e da un anello in testa. Alla fine della prova si svita la scarpa, il carotiere si apre in due permettendo di estrarre il campione



**Profondità:** 30,00 mt **Cassette:** n°6 **Quota p.c.** data esecuzione: da 3/7/2023 al 3/7/2023 **Attrezzatura:** Tecnotunnel TS80



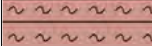






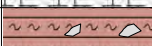
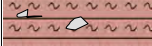
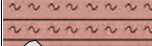
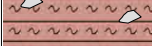
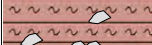

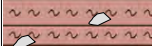
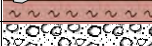
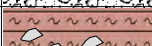
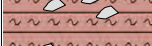
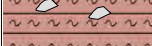

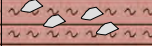
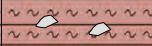
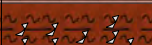




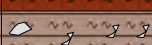
**Tipo carotaggio:** continuo Ø 101 mm **Tipo carotiere:** semplice **Rivestimento:** Ø 127 mm a mt 1,5 **Operatore:** Rocco Marcarelli

**Condizionamento foro e note:**

Foro condizionato con tubo in pvc per prova down-hole in foro

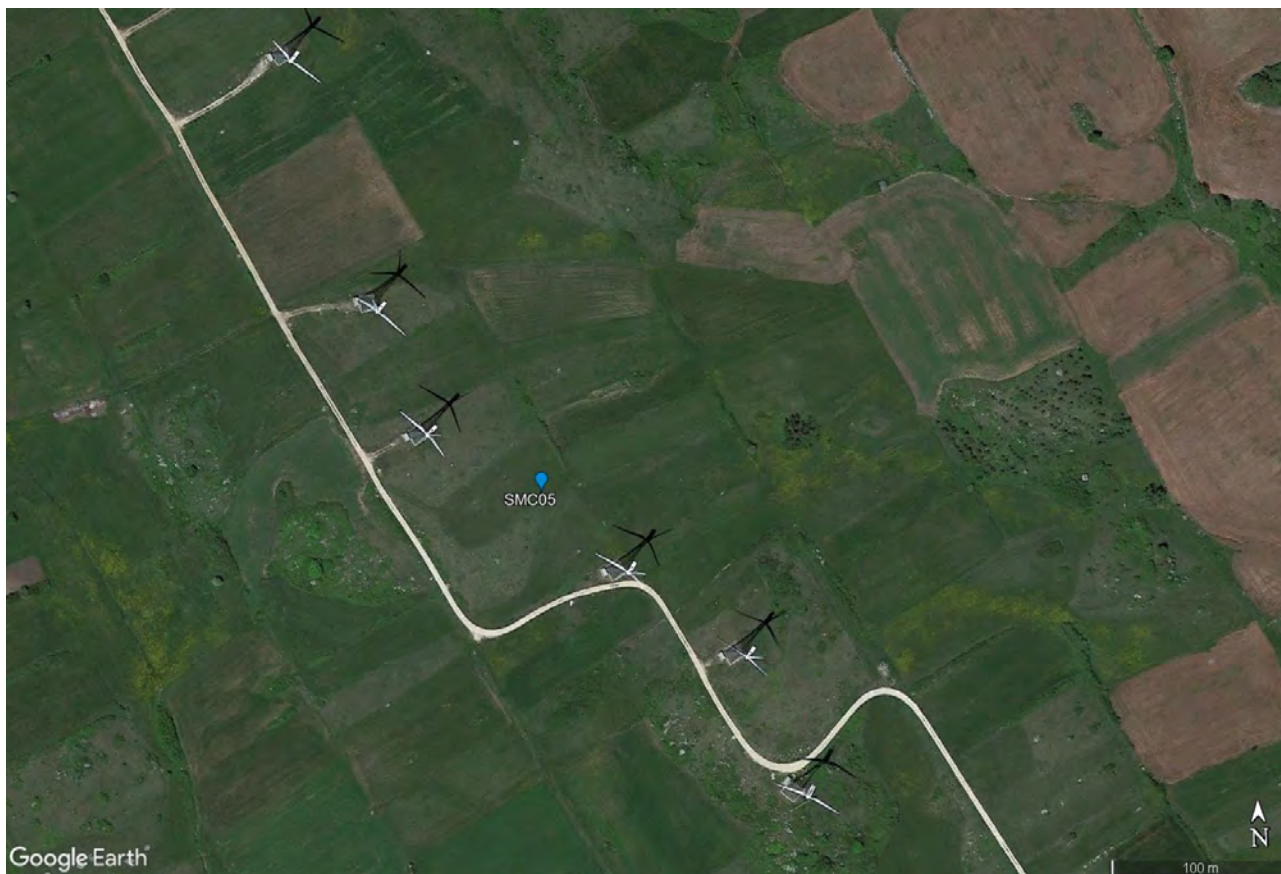
1,0 C1 A Campioni rimaneggiati ad uso ambientale A, (1,0 = profondità e C1 = n° campione)

Scala 1:150

Profondità metri	Spess. metri	SIMBOLO	DESCRIZIONE LITOLOGICA	% Carot 25 50 75	Camp. <small>S=shelby O=Osterberg M=Mazier</small>	Tubo Dow-hole	H <sub>2</sub> O	SPT <small>A= punta aperta C=punta chiusa</small>	Nspt
1	0,5		Sabbia limosa sciolta bruna - terreno vegetale.						
2	1,3		Limo debolmente argilloso di colore bruno pedogenizzato.		0,8 C1A				
3	2,6		Limo debolmente argilloso, sabbioso rossastro con rari elementi litici minuti, leggermente consistente.						
4			Limo argilloso ghiaioso rossastro, si rinvencono livelli centimetrici e decimetrici calcarei e ghiaia eterometrica a spigoli vivi, in genere allungata.		3,5 C1 S				
5	4,6		Limo argilloso rossastro con inclusi clasti calcarei.		4,0				
6	6,2		Calcarei biancastri in strati fratturati con spessori di 10-20 cm intervallati da limo argilloso rossastro asportato in fase di perforazione RQD ~ 30%					A Mt 7,0 (17-Rifiuto)	Rif
7			Limo argilloso rossastro con inclusi rari elementi calcarei centimetrici, compatto.						
8	7,8		Calcarei biancastri in strati fratturati con spessori di 10 cm massimo.		8,5 C2 S				
9	8,0		Limo argilloso ghiaioso, brecciole minute e centimetriche incluse nell'ammasso limo argilloso. A tratti si rinviene una struttura scagliosa. I clasti calcarei risultano in alcuni punti abbondanti. Compatto		9,0				
10									
11									
12									
13								A Mt 13,5 (28-Rifiuto)	Rif
14									
15	14,5		Calcarei fratturati in breccie centimetriche a spigoli vivi.		16,5 C3 M				
16	15,1		Limo argilloso ghiaioso, brecciole minute e centimetriche incluse nell'ammasso limo argilloso. A tratti si rinviene una struttura scagliosa. I clasti calcarei risultano in alcuni punti abbondanti. Compatto.		17,0 C2 A				
17					17,1 C2 A				
18	17,7		Calcarei fratturati in breccie centimetriche a spigoli vivi.						
19	18,3		Limo argilloso ghiaioso, brecciole minute e centimetriche incluse nell'ammasso limo argilloso. I clasti calcarei risultano in alcuni punti abbondanti. Compatto.						
20	20,3		Limo argilloso ghiaioso, brecciole minute e centimetriche incluse nell'ammasso limo argilloso. I clasti calcarei risultano in alcuni punti abbondanti. Compatto.					C Mt 21,0 (21-37-39)	76
21									
22									
23									
24									
25	25,0		Limo debolmente argilloso e sabbioso di colore rosso con presenza di minuti elementi calcarei a tratti anche abbondanti. Compatto.						
26									
27	26,7		Limo debolmente argilloso e ghiaioso di colore marrone rossiccio compatto, all'interno numerose brecciole calcaree da millimetriche a centimetriche.					C Mt 27,0 (30-36-40)	76
28					27,8 C3 A				
29			Limo debolmente argilloso e sabbioso di colore rosso con presenza di minuti elementi calcarei che alla base diventano più rari.						
30	30,0	Fine Foro							
31									
32									
33									

## INDAGINE SISMICA DOWN-HOLE DH5

### Ubicazione



### Normativa di riferimento

I disastrosi terremoti che negli ultimi anni hanno interessato l'Italia hanno determinato una riclassificazione sismica del territorio nazionale e una rivisitazione della normativa sismica che regola le costruzioni ricadenti in zone sismiche. Le Nuove Norme Tecniche sulle Costruzioni (NTC 17 gennaio 2018<sup>1</sup>), la normativa tecnica europea (Eurocodici EC7<sup>2</sup> e EC8<sup>3</sup>) e le più avanzate normative internazionali<sup>4</sup> disciplinano la progettazione e la costruzione di nuovi edifici soggetti ad azioni sismiche e la valutazione della sicurezza e degli interventi di adeguamento su edifici soggetti al medesimo tipo di azioni. Tali norme hanno lo scopo di assicurare che in caso di evento sismico sia protetta la vita umana, siano limitati i danni e rimangano funzionanti le strutture essenziali agli interventi di protezione civile. Fra le novità più importanti della nuova normativa tecnica in materia di progettazione antisismica vi è l'estensione della zonazione sismica a tutto il territorio nazionale.

La necessità di investigare il sottosuolo ha indirizzato i ricercatori a studiare tecniche non invasive, e quindi economiche, veloci e pratiche, per effettuare caratterizzazioni sismostratigrafiche del sottosuolo. Per ottemperare a quanto prescritto dalla normativa vigente è necessario determinare le azioni sismiche previste su nuove costruzioni, ampliamenti e ristrutturazioni importanti che ricadono in zona sismica, attraverso la determinazione della  $V_{s,eq}$  in m/s (velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio). A tale parametro vengono attribuiti intervalli di variazione a cui corrispondono differenti categorie di sottosuolo (§ 3.2.2 NTC 2018). Il parametro  $V_{s,eq}$  è calcolato mediante la seguente espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}} [m/s]$$

<sup>1</sup> Decreto del Ministero delle Infrastrutture 17 gennaio 2018, pubblicato sul supplemento ordinario n. 42 del 20 febbraio 2018

<sup>2</sup> CEN 1994, Geotechnical Design, General Rules, European Committee for Standardisation (CEN), Eurocode 7 Part 1.

<sup>3</sup> CEN 2003, Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, Final Draft, prEN 1998-1, Brussels;

<sup>4</sup> CEN 2004, Design of structures for earthquake resistance - Part 3: Assessment and retrofitting for buildings, Draft No 7, prEN 1998-3, Brussels.

<sup>5</sup> Applied Technology Council, 1996, Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Volume 1, California;

ACI 318, Building Code Requirements for Reinforced Concrete and Commentary, American Concrete Institute, Michigan, 2000;

Standards New Zealand, The design of concrete structures, NZS 3101, Wellington, 1995;

Canada Standards, The design of concrete structures, CSA-A23.3-04, Canada, 2005.



GEO-TECNICA SRL – Zona Industriale Ponte Valentino  
82100 Benevento [www.geo-tecnica.it](http://www.geo-tecnica.it) e-mail: [informazioni@geo-tecnica.it](mailto:informazioni@geo-tecnica.it)

**Accettazione n° 1965 del 23.06.2023**

**Richiedente:** Dott. Geol. Nazario Di Lella

**Committente:** IVPC srl

**Progetto:** progetto di rifacimento di un parco eolico in provincia di Benevento pari a 146,40MW su 24 aerogeneratori

**Località:** F.9 p.lle 254, 256 -Comune di San Marco dei Cavoti (BN)

**Data esecuzione:** 25.07.2023

**Rapporto di prova:** n° 921 del 28.07.2023

dove:

$V_{s,i}$ : velocità delle onde di taglio nell' i-esimo strato

$h_i$ : spessore in metri dello strato i-esimo

N: numero di strati

H: profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione. Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  è definita dal parametro  $V_{s,30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

La determinazione della  $V_{s,eq}$  avviene attraverso specifiche indagini geofisiche che si basano sulla propagazione delle onde sismiche nel sottosuolo.

In generale, le indagini sismiche si dividono in attive e passive. Le prime consistono nella generazione di onde sismiche che si propagano nel sottosuolo in seguito ad una energizzazione, che avviene tramite massa battente o scoppio, in un punto sorgente. Le onde generate vengono successivamente registrate da geofoni, rilevatori del moto del suolo, disposti lungo una linea sismica. Le indagini sismiche passive, invece, sono caratterizzate dalla registrazione del rumore sismico generato da sorgenti naturali e/o artificiali (rumore antropico).

#### **Indagine sismica con tecnica "Down-Hole"**

L'indagine sismica in foro di tipo down-hole viene effettuata mediante l'utilizzo di una sorgente energizzante in superficie ed una sonda di ricezione in configurazione triassiale calata in foro. La sonda di ricezione triassiale è costituita da tre geofoni (uno verticale e due orizzontali posti ortogonalmente tra di loro). Uno specifico sistema di tipo meccanico permette alla sonda di ancorarsi alle pareti del foro alle profondità stabilite. Il geofono verticale registra l'arrivo delle onde P, mentre i due geofoni orizzontali registrano l'arrivo delle onde S. Nella tecnica down-hole un sismografo registra il treno d'onda generato dalla sorgente ed arrivato al ricevitore calato in foro; ne risulta un sismogramma nel quale si possono individuare i tempi di arrivo delle onde dirette (onde P) e di taglio (onde S), a seconda di come viene direzionata l'energizzazione e del ricevitore utilizzato. Dal risultante tempo di arrivo delle onde sismiche tramite il percorso diretto tra sorgente e ricevitore si può risalire alle velocità sismiche P ed S per quanto riguarda il terreno indagato, sino alla profondità raggiunta dalla sonda triassiale ( $\text{Velocità sismica [m/s]} = \text{distanza sorgente-ricevitore [m]} / \text{tempo di percorrenza [millisecondi]}$ ). La sorgente energizzante è costituita da una massa battente di 8 kg. Per la generazione delle onde P viene effettuata un'energizzazione verticale su piastra mentre per la generazione delle onde S l'energizzazione è orizzontale su un lato o entrambi i lati di una traversina di legno posta sotto le ruote di un automezzo, il cui peso ha il compito di rendere la stessa più solidale col terreno in modo da trasmettere al meglio le onde di taglio generate.

#### **Strumentazione utilizzata per tecnica Down-Hole**

L'indagine è stata condotta mediante l'utilizzo del sismografo GEA24 della PASI srl (via Galliari 5/E TORINO, con canali a 24 bit (con PC esterno) adatto a RIFRAZIONE, RIFLESSIONE SUPERFICIALE, ONDE DI SUPERFICIE (MASW, Re.Mi.,  $V_{s,eq}$ , MAAM, ESAC, ecc.) HVSR/ VIBRAZIONI, DOWNHOLE, CROSSHOLE, utilizzando un Geofono da foro 3D "GFA-50"

I segnali sismici acquisiti sono stati successivamente elaborati con un apposito programma INTERSISM della GeoSoft dell'ing. Giorgio Scioldo, per la determinazione della sismostratigrafia del sottosuolo.

Il direttore del laboratorio

Dott. Geol. Umberto Lonardo





INDAGINI GEOGNOSTICHE - GEOTECNICA - SISMICA

GEO-TECNICA SRL – Zona Industriale Ponte Valentino  
82100 Benevento www.geo-tecnica.it e-mail: informazioni@geo-tecnica.it

**Accettazione n° 1965 del 23.06.2023**

**Richiedente:** Dott. Geol. Nazario Di Lella

**Committente:** IVPC srl

**Progetto:** progetto di rifacimento di un parco eolico in provincia di Benevento pari a 146,40MW su 24 aerogeneratori

**Località:** F.9 p.lle 254, 256 -Comune di San Marco dei Cavoti (BN)

**Data esecuzione:** 25.07.2023

**Rapporto di prova:** n° 921 del 28.07.2023

## **Premessa**

Il sottoscritto dott. geol. Giuseppe Pasquale, iscritto all'Ordine dei Geologi della Regione Campania al n. 2319, veniva incaricato dalla GEO-TECNICA srl con sede alla Z.I. Ponte Valentino-Benevento di eseguire la caratterizzazione sismica nel Comune di San Marco dei Cavoti (BN), Località F.9 p.lle 254, 256, per i lavori relativi a "progetto di rifacimento di un parco eolico in provincia di Benevento pari a 146,40MW su 24 aerogeneratori". La ditta committente è rappresentata dall' IVPC srl.

Obiettivo della presente relazione geofisica è quello di definire, all'interno del sondaggio geognostico SMC 05, secondo quanto previsto dalla normativa vigente in materia il parametro  $V_{s,eq}$  attraverso la stima delle velocità dei terreni con l'esecuzione di n. 1 prova sismica di tipo DOWN-HOLE mediante la caratterizzazione dinamica del sottosuolo con l'individuazione delle principali unità sismostratigrafiche e delle relative proprietà elastiche.

Di seguito vengono riportati i risultati delle elaborazioni dell'indagine eseguita.

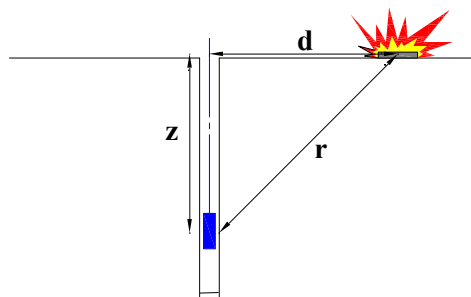
Prova sismica in foro tipo DOWN-HOLE DH5: rapporto di prova n. 921 del 28.07.2023

## Acquisizione ed elaborazione dei dati DH5

La prova sismica DH è stata eseguita all'interno del sondaggio geognostico SMC 05 opportunamente condizionato e per la registrazione delle onde sismiche è stato utilizzato un geofono tridimensionale da foro (o sonda geofonica). L'ancoraggio della sonda alla parete della tubazione (PVC  $\varnothing$  80 mm) è stato garantito da un pistone pneumatico azionato da un dispositivo ad aria compressa.

Per garantire la generazione degli impulsi P ed S è stata utilizzata, come fonte di energizzazione, una massa battente di 8 kg, e per ciascun punto di misura sono state effettuate 2 battute, una verticale e una orizzontale.

Nel caso in esame, la sorgente è stata posizionata ad una distanza di 1,20 m dal boccaforo (Tabella 1), per questo motivo nella fase di elaborazione dei dati è stata effettuata la correzione dei tempi. Se  $d$  è la distanza della sorgente dall'asse del foro (Figura 1),  $r$  la distanza fra la sorgente e il ricevitore,  $z$  la profondità di misura è possibile ottenere i tempi corretti ( $t_{corr}$ ) mediante la seguente formula di conversione:



$$t_{corr} = \frac{z}{r} t$$

Figura 1. Schema down-hole

Tabella 1: Geometria di acquisizione

Distanza da boccaforo (m)	1,20
Profondità raggiunta (m)	30,0
Intervallo di misura (m)	1,0

Attraverso uno specifico software per l'elaborazione dei dati sismici in foro (INTERSISM) le tracce sismiche relative alle onde P ed S di ogni sismogramma sono state separate e raggruppate in seguito in tre files distinti (uno per le onde P e due per onde S) contenenti tutte le tracce P o S alle diverse profondità. Dei due sismogrammi S è stato scelto quello col dato migliore, ovvero quello che al momento dell'acquisizione in foro era

orientato nella posizione più favorevole. Successivamente si è proceduto alla lettura dei tempi di arrivo.

Nella Tabella 2 vengono riportati i tempi corretti.

N° Geof.	Profondità [m]	Onde P [ms]	Onde S (X) [ms]	Onde P (corretti) [ms]	Onde S (X) (corretti) [ms]
1	1.00	7.05	11.28	4.99	7.97
2	2.00	9.50	19.00	8.50	16.99
3	3.00	11.20	23.11	10.62	21.93
4	4.00	12.72	28.47	12.34	27.62
5	5.00	14.00	31.50	13.73	30.89
6	6.00	15.07	34.39	14.87	33.92
7	7.00	15.90	37.50	15.74	37.12
8	8.00	17.01	42.00	16.88	41.68
9	9.00	18.25	43.13	18.14	42.86
10	10.00	19.50	46.23	19.40	46.00
11	11.00	20.33	48.57	20.24	48.37
12	12.00	21.15	49.05	21.08	48.88
13	13.00	22.12	51.87	22.06	51.71
14	14.00	22.81	55.53	22.76	55.39
15	15.00	23.92	57.50	23.87	57.38
16	16.00	25.03	62.01	24.98	61.89
17	17.00	25.86	63.71	25.81	63.60
18	18.00	26.82	67.93	26.78	67.83
19	19.00	27.93	70.47	27.89	70.37
20	20.00	28.21	73.85	28.17	73.76
21	21.00	28.97	76.95	28.94	76.87
22	22.00	29.59	78.93	29.56	78.85
23	23.00	30.70	81.47	30.67	81.39
24	24.00	31.66	82.03	31.64	81.96
25	25.00	32.63	85.13	32.60	85.06
26	26.00	33.46	86.82	33.44	86.76
27	27.00	33.74	88.51	33.71	88.45
28	28.00	34.43	91.05	34.41	90.99
29	29.00	34.57	91.55	34.55	91.49
30	30.00	35.67	92.49	35.65	92.44

**Tabella 2: tempi corretti secondo lo schema riportato in Figura 1**

Calcolati i tempi corretti per le onde P ed S, è stato realizzato il grafico tempo/profondità ed individuati i tratti a velocità omogenea (dromocrone) (Figura 2). La velocità media delle onde sismiche, relativa a strati omogenei di terreno, è rappresentata dalla pendenza dei segmenti di retta che meglio interpolano i punti sperimentali. In Figura 2 vengono riportate le dromocrone e i relativi sismostrati individuati.



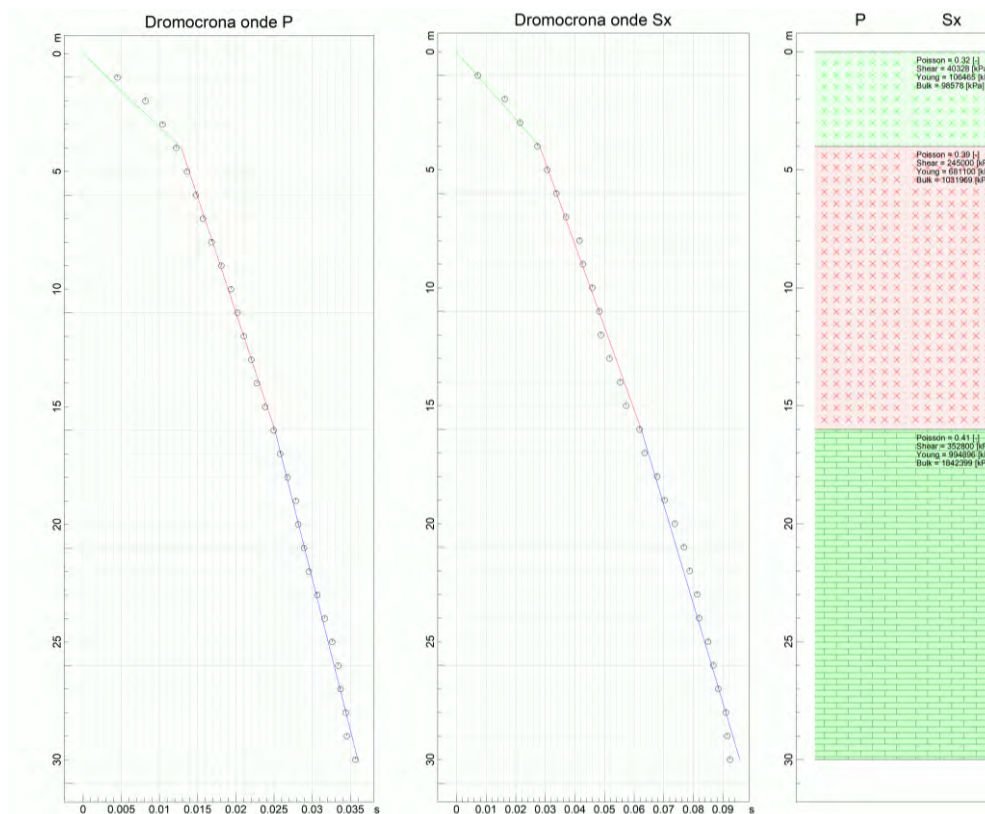


Figura 2: Dromocrone delle onde P ed S e relativi sismostrati

Nelle seguenti tabelle vengono riportati i parametri sismici ed elastici relativi agli strati individuati.

VELOCITA' ONDE P

Strato	Profondità [m]	Velocità [m/s]
1	4	307
2	16	995
3	30	1286

PARAMETRI ONDE SX

Strato	Profondità [m]	Velocità [m/s]	Poisson [-]	Shear [kPa]	Young [kPa]	Bulk [kPa]
1	4	141	0.32	39762.0	104971	97195.0
2	16	354	0.39	250632	696756	1055690.0
3	30	420	0.41	352800	994895	1842398.0

Ai sensi del DM 17 gennaio 2018, si riporta il valore della  $V_{s,eq}$  (con  $H=30m$ ) riferito all'attuale piano campagna.

Prof. (m)	$V_{s,eq}$ (m/s)
0-30	314

## Conclusioni

L'indagine sismica (DOWN-HOLE) ha consentito di determinare il profilo verticale della Vs e, di conseguenza, del parametro Vs,eq come riportato nelle precedenti tabelle.

In riferimento alla Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni si riportano le categorie di sottosuolo di riferimento distinte in funzione del parametro Vs,eq\* (Tabella 3).

**Tabella 3: Categorie di sottosuolo (Tabella 3.2.II NTC 2018)**

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Il direttore del laboratorio  
Dott. Geol. Umberto Lonardo

Lo sperimentatore incaricato  
Dott. Geol. Giuseppe Pasquale

Elab. 104/23



*Giuseppe Pasquale*

\* La classificazione del terreno è di pertinenza dell'utente che ne deve valutare la tipologia sulla base della normativa vigente (NTC 2018) tenendo conto della locale successione stratigrafica. Si ricorda che per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio Vs,eq è definita dal parametro Vs,30, ottenuto ponendo H=30 m nella espressione [3.2.1] del § 3.2.2 NTC 2018 e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

